

**INDÚSTRIA 4.0:**  
***A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL* E OS**  
**DESAFIOS PARA A INDÚSTRIA E PARA O**  
**DESENVOLVIMENTO BRASILEIRO**

JULHO/2017

## CONSELHO DO IEDI

| <i>Conselheiro</i>                    | <i>Empresa</i>                    |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Alberto Borges de Souza               | Caramuru Alimentos S.A.           |
| Amarílio Proença de Macêdo            | J.Macêdo Alimentos S/A            |
| Bernardo Gradin                       | GranBio S/A                       |
| Carlos Eduardo Sanchez                | EMS - Indústria Farmacêutica Ltda |
| Carlos Mariani Bittencourt            | PIN Petroquímica S/A              |
| Cleiton de Castro Marques             | Biolab Sanus Farmacêutica Ltda    |
| Cláudio Bardella                      | Bardella S/A Indústrias Mecânicas |
| Claudio Bergamo dos Santos            | Hypermarcas S/A                   |
| Claudio Gerdau Johannpeter            | Gerdau Aços Longos S/A            |
| Dan Ioschpe<br><i>Vice-Presidente</i> | Ioschpe-Maxion S/A                |
| Daniel Feffer                         | Grupo Suzano S/A                  |
| Décio da Silva                        | WEG S/A                           |
| Eugênio Emílio Staub                  | Conselheiro Emérito               |
| Fabio Hering                          | Companhia Hering S/A              |
| Flávio Gurgel Rocha                   | Confecções Guararapes S/A         |
| Frederico Fleury Curado               | Membro Colaborador                |
| Geraldo Luciano Mattos Júnior         | M. Dias Branco S.A                |
| Hélio Bruck Rotenberg                 | Positivo Informática S/A.         |
| Henri Armand Slezynger                | Unigel S.A                        |
| Ivo Rosset                            | Rosset & Cia. Ltda.               |
| Ivocy Brochmann Ioschpe               | Conselheiro Emérito               |
| João Guilherme Sabino Ometto          | Grupo São Martinho S/A            |
| José Antonio Fernandes Martins        | Marcopolo S/A                     |
| José Carlos Grubisich                 | Eldorado Brasil Celulose S/A      |

## CONSELHO DO IEDI

| <i>Conselheiro</i>                               | <i>Empresa</i>                                  |
|--|---|
| José Roberto Ermírio de Moraes                   | Votorantim Participações S/A                    |
| Josué Christiano Gomes da Silva                  | Cia. de Tecidos Norte de Minas-Coteminas        |
| Laércio José de Lucena Cosentino                 | TOTVS S/A                                       |
| Lírio Albino Parisotto                           | Videolar S/A                                    |
| Lucas Santos Rodas                               | Companhia Nitro Química Brasileira S.A.         |
| Luiz Alberto Garcia                              | Algar S/A Empreendimentos e Participações       |
| Luiz de Mendonça                                 | Odebrecht Agroindustrial S/A                    |
| Marcos Paletta Camara                            | Paranapanema S.A.                               |
| Murilo Pinto de Oliveira Ferreira                | Vale S.A.                                       |
| Ogari de Castro Pacheco                          | Cristália Produtos Químicos Farmacêuticos Ltda. |
| Olavo Monteiro de Carvalho                       | Monteiro Aranha S/A                             |
| Paulo Cesar de Souza e Silva                     | Embraer S/A                                     |
| Paulo Diederichsen Villares                      | Membro Colaborador                              |
| Paulo Francini                                   | Membro Colaborador                              |
| Paulo Guilherme Aguiar Cunha                     | Conselheiro Emérito                             |
| Pedro Luiz Barreiros Passos                      | Natura Cosméticos S/A                           |
| Pedro Wongtschowski<br><i>Presidente</i>         | Ultrapar Participações S/A                      |
| Ricardo Steinbruch<br><i>Vice-Presidente</i>     | Vicunha Têxtil S.A.                             |
| Roberto Caiuby Vidigal                           | Membro Colaborador                              |
| Rodolfo Villela Marino<br><i>Vice-Presidente</i> | Elekeiroz S.A.                                  |
| Rômél Erwin de Souza                             | Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais - USIMINAS  |
| Rubens Ometto Silveira Mello                     | Cosan S/A Ind e Com                             |
| Salo Davi Seibel                                 | Duratex S/A                                     |
| Victório Carlos De Marchi                        | Cia. de Bebidas das Américas - AmBev            |

# **INDÚSTRIA 4.0: A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E OS DESAFIOS PARA A INDÚSTRIA E O DESENVOLVIMENTO BRASILEIRO<sup>1</sup>**

|   |    |
|---|----|
| 1. Introdução ao conceito .....   | 1  |
| 1.1. Definição e história do conceito.....                                | 1  |
| 2. Desenvolvimento Tecnológico e Implantação .....                        | 8  |
| 2.1. Os Princípios e as Tecnologias Essenciais para a Indústria 4.0 ..... | 8  |
| i. Princípios da Indústria 4.0 .....                                      | 8  |
| ii. Tecnologias da Indústria 4.0 .....                                    | 10 |
| 3. Cenário futuro e posicionamento do Brasil e da indústria nacional..... | 23 |
| 3.1. A geoeconomia da Indústria 4.0 .....                                 | 23 |
| 3.2. Três grandes desafios da indústria 4.0 para o Brasil.....            | 29 |
| 3.3. Recomendações para uma estratégia nacional 4.0 .....                 | 36 |
| 3.4. Políticas e ações para uma estratégia nacional 4.0 .....             | 41 |

---

<sup>1</sup> João Furtado (responsável), Henrique Pinheiro, Eduardo Urias e Diego Muñoz.

## INDÚSTRIA 4.0: A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E OS DESAFIOS PARA A INDÚSTRIA E O DESENVOLVIMENTO BRASILEIRO

### 1. Introdução ao conceito

#### 1.1. Definição e história do conceito

O termo Indústria 4.0 surgiu na feira de Hannover no ano de 2011, sendo utilizado para denominar o projeto alemão de promover um grande salto de competitividade por meio da aplicação de novas tecnologias no mundo da manufatura. (Kagermann *et al.*, 2011 *apud* Hermann *et al.*, 2015) Através da Indústria 4.0, a Alemanha teria como objetivo o revigoreamento do tecido industrial germânico e o fortalecimento das suas exportações de equipamentos e soluções “inteligentes”.

Em paralelo às grandes transformações propriamente industriais que se avizinham, portadas pela Indústria 4.0, várias outras importantes mudanças, em ambientes relacionados ou circunvizinhos prometem transformar a face das economias: avanço substancial das novas fontes de energia renováveis (e mais limpas), *smart grid* e veículos autônomos, para ficar em três dimensões que possuem grandes repercussões tanto nas estruturas econômicas quanto na ordem econômica internacional. O avanço das energias renováveis e mais limpas modifica a natureza das relações entre países industrializados avançados e os pólos mundiais de produção de energia. De modo complementar, o avanço dos conceitos relacionados com a chamada economia circular também deverá reduzir a dependência dos países industrializados mais avançados com relação aos fluxos de matérias-primas dos produtores de *commodities* básicas. Parece evidente que estas múltiplas mudanças nas estruturas e na dinâmica nos padrões de produção material e de serviços terão profundas consequências sobre a geografia da economia mundial e sobre os fluxos de comércio e de investimento – e um dos desafios consiste em descortinar (e se possível decifrar) os possíveis cenários.

Antes de tudo, os conceitos: uma busca pelo termo Indústria 4.0 na internet gera mais de uma centena de milhões de resultados. Apesar do uso frequente, a definição de “*Industrie 4.0*” não é unânime e encontra equivalentes fora do idioma alemão como “*Advanced Manufacturing*” ou “*Industrial Internet of Things*”. Os termos são regularmente utilizados para descrever um novo paradigma industrial da era pós-digital: a 4ª revolução industrial.

Uma definição proposta por Hermann *et al.* (2015) após extensa revisão bibliográfica é, em tradução livre:

“Indústria 4.0 é um termo coletivo para tecnologias e conceitos da organização da cadeia de valor. No interior das fábricas inteligentes e modulares da Indústria 4.0, sistemas ciber-físicos (CPS) monitoram processos, criam uma cópia virtual da realidade e tomam decisões descentralizadas. Através da Internet das Coisas<sup>2</sup> (IoT) os CPS se comunicam e cooperam entre si e com seres humanos em tempo real, e através da Internet dos Serviços<sup>3</sup> (IoS) são oferecidos serviços organizacionais internos e externos<sup>4</sup>, utilizados por participantes desta cadeia de valor.”

Assim como é difícil defini-la de forma precisa e aceita por todos, não há consenso sobre quais são as tecnologias essenciais para o pleno desenvolvimento da Indústria 4.0. Autores citam, mas não se limitam a considerar: Sistemas ciber-físicos (CPS), *Big Data Analytics*, Computação em nuvem, Internet das Coisas (IoT) e Internet dos serviços (IoS), Impressão 3D e outras formas de manufatura aditiva, Inteligência artificial, Digitalização, Colheita de energia (*Energy harvesting*) e Realidade aumentada. Cada uma destas tecnologias viabilizadoras do modelo industrial emergente será analisada na Seção 2.a.

A aplicação dessas tecnologias à produção manufatureira é pré-requisito da Indústria 4.0, mas o conceito não se limita à aplicação combinada dessas tecnologias. Indústria 4.0 cria e articula fábricas inteligentes em um sistema produtivo e comercialização substancialmente diferentes. No entanto, essas mudanças não esgotam o novo modelo industrial. Na Indústria 4.0 *“as empresas irão estabelecer redes globais com os seus equipamentos, depósitos e unidades de produção articulados por sistemas ciber-físicos. No ambiente industrial (manufatureiro), estes sistemas ciber-físicos incluem máquinas, sistemas de armazenagem e unidades de produção inteligentes, capazes de trocarem informações de forma autônoma, desencadeando ações e controles mútuos de modo independente”* (Hermann et al., 2015).

Quanto às fábricas inteligentes, já existem elementos que permitem caracterizá-las e elas empregam “uma abordagem completamente diferente da produção”. Os seus produtos, também inteligentes, possuem uma identidade única e a sua história de produção e consumo pode ser rastreada a qualquer momento, permitindo mudanças importantes ou ajustes pontuais ao longo dos processos de produção envolvidos. *“Os sistemas de fabricação*

---

<sup>2</sup> *“Internet of Things” semantically means “a world-wide network of interconnected objects uniquely addressable, based on standard communication protocols”*. (Atzori et al., 2010)

<sup>3</sup> *“A Internet dos Serviços consiste nos participantes, infraestrutura, modelos de negócio e serviços em si, que são possibilitados pelo uso da internet. Eles são oferecidos e combinados em serviços com valor agregado por vários fornecedores e comunicados para usuários e consumidores, e podem ser acessados por vários canais.”* (Buxmann, Hess, & Ruggaber, 2009, p.341, tradução livre).

<sup>4</sup> *Serviços organizacionais internos são as fases do desenvolvimento e produção encarados como serviços prestados entre setores dentro da companhia. Serviços organizacionais externos são definidos pelos serviços oferecidos na interface entre diferentes empresas constituintes de uma cadeia de valor.*

*envolvidos estão conectados verticalmente com os processos das fábricas e das empresas e estão horizontalmente conectados com outras redes de valor, podendo ser geridos em tempo real - desde o momento em que um pedido é feito até a logística da expedição”* (Hermann *et al.*, 2015). Uma consequência de alto impacto desta transformação envolve a possibilidade de eliminação de estoques e a fabricação sob demanda de lotes mínimos - no limite, *lotes unitários*.

A Indústria 4.0 cria fábricas inteligentes e um sistema industrial inteligente de tal forma que afeta profundamente as qualificações profissionais e as relações de trabalho, cria novos mercados e modelos de negócio, e pode alterar significativamente a dinâmica econômica do mundo moderno. Esses temas serão abordados na seção 3. Apresentamos alguns elementos que serão posteriormente desenvolvidos, mas é possível adiantar que a posição relativa de cada ator poderá ser substancialmente modificada, seja ele a empresa, o setor ou o país.

A nova revolução foi precedida pelo uso de motores a vapor e equipamentos mecânicos nas fábricas do século XVIII (1ª revolução industrial), o conceito de linhas de produção e ampla aplicação da eletricidade na manufatura na segunda metade do século XIX (2ª revolução industrial) e pela aplicação de eletrônica, tecnologia da informação e automação aos processos de produção em meados de 1970 (3ª revolução industrial). Todas elas têm em comum a chegada de tecnologias que, quando aplicadas de forma ampla à indústria, alteram de forma rápida e profunda a maneira de produzir. No entanto, nem todas as empresas, os setores e os países são impactados da mesma forma, podendo haver por isso alterações profundas nas posições competitivas.

Entretanto, há uma diferença crucial entre a Indústria 4.0 e as revoluções que a precederam: o novo paradigma dos meios de produção não foi constatado após seu desenvolvimento e impacto no mercado, mas previsto e anunciado *a priori* (Drath, 2014, *apud* Hermann *et al.*, 2015). Mais do que isso, a direção de desenvolvimento vem sendo moldada e sua velocidade aprimorada pela aplicação de políticas públicas. Esse fato, que distingue a quarta revolução das anteriores, muda substancialmente a dinâmica da transformação, uma vez que empresas e países tem a chance de traçar estratégias e se preparar para as mudanças que se anunciam, em um primeiro momento como ameaça, mas também como fonte de oportunidades de transformação estrutural e desenvolvimento.

Pode-se argumentar, inclusive, que a 4ª revolução industrial é fruto de uma estratégia dos países desenvolvidos, especialmente da Alemanha, de articulação coesa de estratégias empresariais e ações públicas de suporte para combater as ameaças ao protagonismo ocidental advindas do crescimento industrial no oriente. Com efeito, as mudanças promovidas pela Indústria 4.0 apresentam um potencial bastante promissor para

combater o modelo de produção em larga escala e baixo custo dos países emergentes, bem como os seus efeitos nos fluxos de comércio (os déficits comerciais de muitos países ocidentais com a China) e, ao menos parcialmente, na desindustrialização<sup>5</sup>.

No mundo vislumbrado por especialistas da manufatura e da concepção da nova manufatura, a criação de pequenas fábricas modulares, flexíveis e ultra-conectadas possibilita reduzir drasticamente a escala sem afetar de modo substancial o custo final dos produtos. O modelo possui as vantagens adicionais de permitir a customização extrema da produção e reduzir os custos logísticos ao dispersar a produção e aproximá-la dos mercados consumidores. Com isso, o modelo dos grandes complexos industriais especializados típicos de países como a China estaria ameaçado por uma forma mais ágil, distribuída e conectada de produção. A estratégia alemã é também uma combinação de resposta ao medo provocado pela ameaça chinesa e de salto para o futuro, para uma grande visão tecnológica.

### **A questão das ocupações e do emprego**

Os impactos sobre o emprego, a criação e a distribuição de riqueza da implementação dos conceitos preconizados pela Indústria 4.0 não são bem conhecidos e ainda demandam estudos aprofundados que permitam um diagnóstico mais fundamentado. Uma crescente automação da produção e a substituição de trabalhadores por máquinas podem eliminar trabalhos "rotineiros", diminuir a demanda por trabalho barato, aumentar a desigualdade e causar migração de trabalhadores. Em países em desenvolvimento esta dinâmica tende a ser ainda mais desafiadora, já que nestes países há milhões de jovens adentrando o mercado de trabalho todos os anos (UNIDO 2016 Industry 4.0 Opportunities and Challenges of the New Industrial Revolution for Developing Countries and Economies in Transition).

Outro desafio importante para os países em desenvolvimento, com impactos importantes sobre o emprego e a distribuição de renda, é a reversão de fluxos externos de capital. As diferenças de custo do trabalho deixarão de ser um diferencial importante na atração de investimento estrangeiro direto na Indústria 4.0. Desafios adicionais para economias em desenvolvimento incluem o aumento na defasagem tecnológica e de conhecimento em relação aos países desenvolvidos e suas implicações sobre a construção de novas capacidades, o aumento da desigualdade e sobre a igualdade de gênero (UNIDO

---

<sup>5</sup> A desindustrialização é um fenômeno multifacetado e apenas uma parte da perda de conteúdo industrial de muitos países pode ser debitada à substituição de produção local por importações oriundas da China e de outras bases de produção em ascensão. Entre as demais facetas há que considerar que uma parte crescentemente importante da produção manufatureira está fora da fábrica e do setor industrial, devendo-se a serviços tradicionais e avançados que contribuem para o valor da produção industrial.



2016 Industry 4.0 Opportunities and Challenges of the New Industrial Revolution for Developing Countries and Economies in Transition).

As transformações nas ocupações serão graduais, porém profundas. O trabalho digital, como o uso de drones inteligentes, robôs e assistência hiper-customizada, será incorporado à força de trabalho. Novos setores industriais irão emergir, como a medicina digital, a agricultura de precisão, o design de robôs para a medicina e a gestão de modernização de redes. Haverá também transformações nos trabalhos existentes. Como exemplo, a realidade virtual e a realidade aumentada auxiliarão os trabalhadores "tradicionais" a elevarem a sua produtividade e a tornarem seus trabalhos mais seguros. É necessário então preparar o sistema educacional para lidar com estes desafios de adicionar novas habilidades à força de trabalho. Incentivos de políticas públicas serão necessários para o treinamento dos trabalhadores e será preciso que os trabalhadores aprendam a colaborar e a coexistir com máquinas inteligentes.

Embora os resultados globais sobre o emprego possam ser discutidos e a resultante final entre destruição e criação de empregos possa ser desconhecida, não existem dúvidas de que a composição dos empregos vai mudar de modo substancial; e não há ainda muita clareza sobre a natureza de todas as ocupações em que haverá perda de postos de trabalho, ainda mais porque muitas funções que são consideradas de elevada qualificação podem efetivamente ser desempenhadas – em diferentes níveis – por equipamentos ou sistemas munidos de inteligência artificial.

O impacto destas tendências pode ser devastador para as economias que adotarem aceleradamente os modelos produtivos típicos da indústria 4.0 sem conseguirem produzir ou participar da produção dos seus componentes materiais e de serviços: perderão os empregos destruídos pela indústria 4.0 e não ganharão aqueles que serão criados para a criação da nova base produtiva.

### **Estratégias Nacionais e Tecnologia**

Neste contexto a Alemanha demonstra ter um duplo interesse ao colocar em prática sua estratégia ofensiva-defensiva: manutenção da liderança no fornecimento de equipamentos de produção, ao se tornar pioneira na definição dos padrões de comunicação e integração do novo modelo industrial; e aumento da competitividade de seu setor industrial, em geral com saltos de produtividade e protagonismo na proposição de novos modelos de negócio. Além do interesse, a Alemanha possui condições importantes para a sua ambição em direção a uma nova indústria, revigorada por novas tecnologias e com demanda reforçada por exportações dos seus equipamentos e soluções avançados. A

principal dessas condições é uma indústria de máquinas e equipamentos sem paralelo entre os outros grandes países avançados (EUA e Japão, por exemplo), alicerçada em um tecido de empresas que formam um sistema integrado, germânico.

Há, entretanto, uma grande ameaça ao sonho alemão: as grandes empresas de tecnologia. O grupo de companhias do mundo digital emergente, representadas por empresas novas e muito novas: Google, Apple, Facebook, Amazon, Netflix, Airbnb, Twitter e Uber, todas com sede no Vale do Silício. Elas são a referência absoluta no aproveitamento das tecnologias digitais como forma de interagir com o usuário e capturar valor definindo novos padrões de consumo. Essa relação direta com o mercado consumidor através da captação e análise de dados é parte importante da cadeia de valor da Indústria 4.0, e os gigantes digitais têm boas chances de absorver uma fatia considerável do valor agregado em toda a cadeia industrial, ou até mesmo se tornarem participantes ativos do mercado, a exemplo do caso do veículo autônomo (em que o veículo Google tem a pretensão - fundada ou não - de enfrentar o modelo alternativo de uma dezena de montadoras tradicionais e com posições dominantes no mercado automobilístico). Com isso em mente, é fácil imaginar uma posição de fragilidade do sistema produtivo, caso este não seja eficiente em incorporar a prestação de serviços e a comunicação com o mercado digital em novos modelos de negócios. Sugere-se, portanto, que, sendo referência em tecnologia e inovação, os Estados Unidos estão em posição estratégica - superior à Alemanha - para a migração rumo ao novo paradigma industrial (ver o item 3.a).

As empresas do mundo digital e dos novos modelos de negócio de escala global viabilizados pela conectividade em tempo real possuem - é certo - boas vantagens no novo mundo que se anuncia. Mas também as empresas industriais podem beneficiar-se de algumas das características emergentes do novo modelo. Essa é uma equação não resolvida. Mas muitas empresas que fabricam e fornecem equipamentos para os mais diversos setores de atividade, uma vez os equipamentos vendidos e entregues, possuem hoje acesso muito restrito às condições de uso e ao desempenho real dos seus produtos. O novo modelo fornece as condições para que um equipamento ou um sistema produza permanentemente, por toda a sua vida, em tempo real, informações que permitem ao fabricante original prestar continuamente serviços associados ao seu desempenho.

Os efeitos dessa mudança são substanciais, incluindo a coleta de dados que permitem alimentar os processos de engenharia e de P&D e a manutenção que pode assim tornar-se preditiva. É muito impressionante que os sistemas de gestão hoje existentes, e abaixo deles muitos sistemas parcialmente integrados ou não integrados, bem como equipamentos de produção e outros, já produzam grandes volumes de informações que

repousam, desperdiçados, em bancos de dados sem nenhuma utilidade, quando poderiam servir a muitos modelos de análise, predição e gerar ações de melhoria e mudança.

A dinâmica de inovação e produção resultante das tendências apontadas está longe de ser evidente. Por um lado, a informação da ponta comercial ganha importância e pode ter funções reforçadas de comando sobre as cadeias produtivas, seja pela capacidade de interpretar grandes volumes de informações, seja pela oportunidade de comandar a reorganização das cadeias de produção. Por outro lado, em sentido inverso, é possível que os grandes fabricantes de equipamentos e soluções integradas possam, com ajustes em seus hardwares, evoluir substancialmente em termos de informações produzidas, que os fabricantes podem, tão bem ou melhor do que os usuários dos equipamentos, capturar e transformar em base para novo conteúdo tecnológico e nova capacidade industrial.

A 4ª revolução industrial está sendo gestada por estratégias empresariais autônomas e promovida por articulações de instituições públicas com empresas e organizações privadas, e promete causar grandes impactos no setor industrial e na economia como um todo. Tendo sido anunciada *a priori*, permite a empresas e países prever suas consequências e se preparar para seus impactos; e de fato há grandes mobilizações em diversas partes do mundo. Ainda não é clara a definição exata de Indústria 4.0 e nem quais serão, efetivamente, as tecnologias decisivas em sua implantação, os desafios e oportunidades aos envolvidos, e muito menos quem serão os vencedores no caso de sua concretização. O que é evidente é a importância de tratar o tema de forma séria e imediata, reunindo esforços do setor privado, governo e academia, de forma a mitigar riscos e aproveitar ao máximo as oportunidades relacionadas a essa tendência. Mais do que nunca a presença de políticas industriais consistentes e decisões estratégicas poderá afetar a dinâmica econômica e o lugar de cada país no novo ambiente.

## 2. Desenvolvimento Tecnológico e Implantação

### 2.1. Os Princípios e as Tecnologias Essenciais para a Indústria 4.0

A tecnologia tem papel essencial na vida das pessoas, e sua evolução em velocidade acelerada promove mudanças e disrupções nas trajetórias conhecidas e no modo como vivemos. Desde o início da era digital assistimos a uma evolução rápida e consistente de fatores de desempenho, como poder de processamento, acompanhado da redução de custos e miniaturização de componentes, seguindo o ritmo previsto na Lei de Moore, uma proposição do universo informático segundo a qual a capacidade de processamento computacional derivada dos avanços da microeletrônica ocorrem numa velocidade que permite duplicar o seu poder em ciclos de 18 meses. Essa evolução promove e possibilita o surgimento de diversas outras tecnologias e aplicações, algumas delas diretamente relacionadas à Indústria 4.0.

Hermann *et al.* (2015) identifica na literatura os princípios básicos para a aplicação bem sucedida de iniciativas de Indústria 4.0: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade de resposta em tempo real, orientação ao serviço e modularidade. Uma breve definição de cada um desses seis princípios é apresentada no item 2.a.i, descrevendo os impactos da aplicação de cada uma das tecnologias base da Indústria 4.0.

#### i. Princípios da Indústria 4.0

##### Interoperabilidade

O conceito de interoperabilidade se baseia na capacidade de comunicação entre produtos, sistemas de produção e de transporte através da rede, independentemente da natureza do elemento inteligente e de seu fabricante. A chave para alcançar esse tipo de comunicação fluida é a definição e implantação abrangente de protocolos e padrões internacionais. Para isso, iniciativas como o “German Standardization Roadmap” publicado em 2013 estão ganhando força.

##### Virtualização

A virtualização se refere à capacidade dos sistemas de monitorar processos e, utilizando dados provenientes de sensores, criar uma versão digital que espelha o mundo físico por meio de modelos matemáticos. Essa versão virtual da realidade permite a previsão de problemas e tomada de decisão em relação aos produtos e aos próprios sistemas de produção.

## Descentralização

Com o aumento na complexidade e individualização na produção é difícil manter os padrões de sistema de controle centralizado, tornando a descentralização da tomada de decisão um fator essencial no desenvolvimento de soluções para a Indústria 4.0. Módulos computacionais inteligentes em cada um dos componentes do sistema de produção e produtos que comuniquem a eles seu estado atual e objetivo fazem parte da operacionalização deste conceito. Evidentemente ainda existirão algumas funcionalidades cujo controle ocorre de forma centralizada, como sistemas de manutenção.

## Capacidade de Resposta em Tempo Real

Para garantir a capacidade de reação do sistema a mudanças de demandas ou problemas de operação, é necessário que haja coleta e análise dos dados gerados pelos sistemas inteligentes para propiciar respostas em tempo real. Somente com aquisição permanente do estado dos processos é possível redirecionar produtos para linhas alternativas e adaptar a fábrica inteligente de forma eficiente.

## Orientação ao Serviço

Trata-se da disponibilização das funcionalidades de empresas, sistemas inteligentes e operadores humanos encapsulados sob a forma de serviços prestados em plataformas da Internet dos Serviços (IoS). Possibilita que cada ação seja encomendada, interna ou externamente à companhia, baseando-se nas necessidades do próprio produto, identificado por tecnologias do tipo RFID<sup>6</sup>.

## Modularidade

Sistemas modulares são essenciais para concretizar os objetivos da Indústria 4.0, pois tem a capacidade de se ajustar e reorganizar *pari passu* com mudanças na demanda ou necessidade de customização de produtos. Com princípios de padronização e protocolos universais de comunicação esses sistemas modulares flexíveis podem ser facilmente incorporados a instalações industriais já existentes, oferecendo suas funcionalidades via IoS.

---

<sup>6</sup> Identificação por radiofrequência ou RFID (do inglês "Radio-Frequency IDentification" ) é um método de identificação automática através de sinais de rádio, recuperando e armazenando dados remotamente através de dispositivos denominados etiquetas RFID. [https://en.wikipedia.org/wiki/radio-frequency\\_identification](https://en.wikipedia.org/wiki/radio-frequency_identification)

## ii. Tecnologias da Indústria 4.0

Sob a ótica dos princípios necessários para a implantação da Indústria 4.0, podemos avaliar algumas das tendências tecnológicas emergentes que, quando plenamente desenvolvidas, serão capazes de prover funcionalidades aos novos processos de produção.

### Sistemas ciber-físicos (CPS)

- Definição:

São sistemas que combinam atuação no mundo físico com conexão com o mundo virtual. Esses equipamentos são dotados de sensores que permitem capturar informações sobre a realidade, transformá-las em dados e utilizá-los na tomada de decisão e atuação com algum grau de automatismo.

Essenciais para a Indústria 4.0, esses sistemas realizam a interface entre processos físicos e digitais, gerando a informação que dá subsídios a outras tecnologias relacionadas a conectividade e inteligência.

- Princípios relacionados:

Os princípios viabilizadores da Indústria 4.0 promovidos pela aplicação dos CPS são: Interoperabilidade, pois são elementos centrais no desenvolvimento e aplicação de redes de comunicação universais; Virtualização, por representarem o ponto de contato entre realidade e informação digital, gerando dados e criando versões virtuais dos processos físicos; e Descentralização, uma vez que com a evolução na capacidade de sistemas embarcados os CPS se tornam capazes de tomar decisões autonomamente, comunicando-se mas não dependendo de uma central de controle como nos processos clássicos de automação.

- Desafios:

O grande desafio no desenvolvimento dos CPS é aliar robustez e flexibilidade a sistemas parte mecânicos e parte digitais, sempre levando em conta os custos e as dimensões físicas. Projeta-se uma evolução em fases para enfrentar esse desafio: Inicialmente os sistemas usariam métodos de controle clássico e integrariam módulos de identificação discretos (como a tecnologia RFID); em seguida a aquisição de dados dos processos físicos e sua atuação aumentaria em variedade dentro de uma amplitude limitada de funcionalidades parcialmente controlada por um sistema central; e finalmente uma terceira fase permitiria uma grande variedade de sensores e atuadores são controladas por um sistema totalmente descentralizado e conectado.

- Áreas do conhecimento mais relevantes:  
Engenharias elétrica, da computação, de automação e controle, mecânica e mecatrônica.

### Big Data Analytics

- Definição:

Em meio a geração de dados impulsionada pelos CPS e demais equipamentos conectados no sistema produtivo, além do grande volume que já circula na Internet, a capacidade de analisar e utilizar esses dados de forma estratégica se torna essencial para o bom desempenho da Indústria 4.0, e o *Big Data Analytics* trata-se justamente do conjunto de técnicas e ferramentas computacionais para extrair valor de grandes volumes de dados.

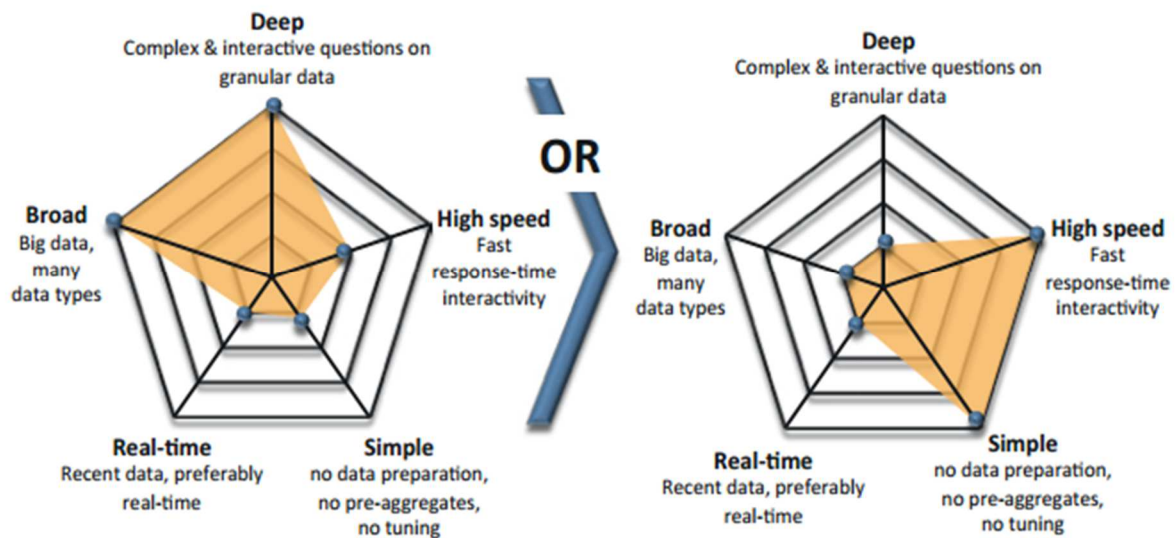
Técnicas anteriores utilizadas na indústria, como análises estatísticas por amostragem, mostram-se ineficazes frente a projeção de mais de 35 zettabytes anuais gerados para 2020. Algoritmos de identificação de padrões e aprendizado de máquina, aliados a grandes bancos de dados e métodos de mineração aplicados diretamente aos sensores geradores de informação (*Smart Sensors*), compõem o estado da arte atual.

- Princípios relacionados:

Os dois princípios mais relevantes ao analisar o *Big Data Analytics* são: Virtualização, pois somente com ferramentas adequadas de análise os dados provenientes da virtualização de processos físicos são úteis para o desenvolvimento da Indústria 4.0; e Capacidade de resposta em tempo real, uma vez que a eficiência e qualidade da análise dos dados é essencial para a tomada de decisão no contexto das fábricas inteligentes e o *Big Data Analytics* reúne as ferramentas necessárias para torná-las realidade.

- Desafios:

O maior desafio do *Big Data Analytics* é o caráter intrínseco de compromisso entre velocidade de resposta e complexidade das análises realizadas. O esquema a seguir ilustra essa relação:



Fonte: IEC (2015)

Apesar do aumento do poder computacional, há um aumento em velocidade equivalente da quantidade de dados, exigindo também o desenvolvimento de soluções mais sofisticadas e complexas de análise.

- Áreas do conhecimento mais relevantes:  
Matemática, estatística, ciência da computação e TI.

### Computação em nuvem

- Definição:

O conceito de computação em nuvem se baseia na transferência de dados e realização de processos computacionais em instalações externas à empresa e posterior recuperação destes dados e resultados, por meio da internet.

Esse tipo de tecnologia permite a redução dos gastos em infraestrutura de TI, que em geral exige investimentos significativos, custos de manutenção e com funcionários especializados.

Servidores externos têm grande poder computacional, altas capacidades de armazenamento e nível de segurança dos dados superior aos presentes em empresas, especialmente de pequeno e médio porte, e já é prática comum do mercado disponibilizá-los como serviços.



- Princípios relacionados:

A aplicação efetiva do *Cloud Computing* no ambiente da Indústria 4.0 é essencial para garantir especialmente dois dos princípios destacados: Descentralização, ao permitir que CPS tenham acesso a um grande poder computacional sem impactar negativamente suas dimensões e custos ou enrijecer a estrutura da fábrica inteligente; e Capacidade de resposta em tempo real, pois com a evolução dos protocolos de comunicação e processadores externos cada vez mais velozes e especializados o processo de tomada de decisão se tornará mais eficiente.

- Desafios:

São três os grandes desafios na aplicação da computação em nuvem em escala industrial: O aumento na escala dos serviços prestados em servidores externos com a ampla adoção desse tipo de solução pelo setor industrial, exigindo crescimento acelerado na quantidade e porte dos prestadores do serviço; a garantia de segurança e confidencialidade dos dados durante as comunicações entre empresa e servidores externos (ainda que os servidores em si possuam alto grau de segurança, o processo de transmissão ainda é notavelmente menos confiável nesse quesito); e por fim a estabilidade e confiabilidade nas conexões, essenciais para os processos de produção, especialmente com sistemas descentralizados que dependem exclusivamente das soluções de comunicação para tomar decisões em tempo real.

- Áreas do conhecimento mais relevantes:

Engenharia da computação, eletrônica, TI e telecomunicação.

### Internet das Coisas (IoT)

- Definição:

Trata-se do meio digital por onde as versões virtuais de sistemas inteligentes e integrados se comunicam. Com a redução de custos de sensores e miniaturização de componentes eletrônicos cresce o número de objetos conectados à Internet (*Smart Objects*) gerando dados obtidos por eles sobre a realidade, dando origem ao termo que descreve sua interação e dinâmica de comunicação.

Em certa extensão os objetos inteligentes conectados através da IoT podem ser considerados sistemas ciber-físicos, e então no contexto industrial a Internet das coisas é a rede de colaboração desses CPS buscando alcançar objetivos produtivos comuns.

- Princípios relacionados:

O principal dos princípios básicos da Indústria 4.0 atingido pela aplicação ampla da IoT é o de Interoperabilidade, pois é a tecnologia que garante a interação entre sistemas em meio comum, independentemente de sua função ou origem.

- Desafios:

O primeiro grande desafio do desenvolvimento e implantação dessa tecnologia está na efetiva criação e aplicação de sistemas inteligentes conectados à rede. Apesar da redução de custos e dimensões e do aumento da capacidade computacional, ainda não há uma massa crítica desses sistemas, que contribuiria para uma maior efetividade da tecnologia.

O segundo desafio está relacionado aos protocolos de comunicação que garantem a comunicação efetiva entre os diversos sistemas conectados (conhecidos como protocolos de comunicação 'máquina a máquina' - M2M). Dada a vasta gama de diferentes objetos, com propósitos e origens variados, estabelecer padrões universais para sua interação é um desafio enorme, não só sob o ponto de vista tecnológico, mas também devido à necessidade de concordância entre os desenvolvedores mundiais.

Por último podemos destacar a sempre presente ameaça de ataques digitais e falhas de segurança e privacidade. O tema é um dos maiores causadores de dúvidas sobre o futuro da tecnologia.

- Áreas do conhecimento mais relevantes:  
Ciência da computação, TI e Telecomunicações.

### Internet dos serviços (IoS)

- Definição:

Meio digital por onde empresas, pessoas ou sistemas inteligentes podem se comunicar com o objetivo de disponibilizar e obter serviços.

Esse tipo de plataforma pode ser utilizado para troca de informações através da cadeia de valor, uma vez que os processos de desenvolvimento, produção e transporte de produtos e materiais sejam encarados como serviços prestados de forma interna ou externa à companhia. Nesse sentido, a IoS é a aplicação da Internet para a criação de uma rede flexível e adaptável de planejamento e controle de processos.

- Princípios relacionados:

Os princípios viabilizadores da Indústria 4.0 promovidos pela aplicação da IoS são: Interoperabilidade, uma vez que a solução tecnológica garante a comunicação entre

quaisquer elementos inteligentes independentemente de funcionalidade e origem; Orientação ao serviço, pois muda a forma de encarar processos na cadeia de valor, enquadrando-os como serviços realizados entre elementos; e Modularidade, por auxiliar na subdivisão das etapas do processo e permitir a clara distinção entre módulos distintos.

- **Desafios:**

Compartilhando desafios similares aos anteriormente apresentados para a IoT, adiciona-se mais um grande desafio relacionado à necessidade de criar interfaces para cada tipo de processo de produção, como forma de enxergá-lo como um serviço. Esse desafio não se resume à criação de protocolos de comunicação, como os da IoT, por exigir modificações físicas nas fábricas.

- **Áreas do conhecimento mais relevantes:**

Ciência da computação, TI, Telecomunicações e Engenharia de Produção.

### Impressão 3D e outras formas de Manufatura Aditiva

- **Definição:**

O termo Manufatura Aditiva se refere aos processos produtivos que, diferentemente dos métodos clássicos de fabricação, adicionam camadas de material como forma de traduzir uma geometria virtual em objeto físico. A Impressão 3D é a técnica mais comum de Manufatura Aditiva, mas há outros tipos de processos que são categorizados da mesma maneira, como a Sinterização<sup>7</sup>.

A Impressão 3D traz grandes vantagens em relação aos processos de manufatura subtrativa (como torneamento e fresagem) pois permite maior liberdade de forma para o produto, diminui o desperdício de material e reduz o tempo de produção em pequena escala. Com isso, vem sendo muito aplicada à fabricação rápida de protótipos e em algumas indústrias específicas, como a aeronáutica, na manufatura de componentes complexos.

Como ocorre em muitas novas tecnologias, as aplicações iniciais ocorrem em áreas em que o custo de produção é menos relevante e a concorrência direta com as tecnologias consolidadas não ocorre principalmente em termos de custos e preços. Mas uma vez que as

---

<sup>7</sup>Sinterização: “A sinterização é o método mais antigo para a fabricação de cerâmicas, especialmente de tijolos, telhas, pisos, azulejos e utensílios. A sinterização de pós é também largamente aplicada na produção de refratários, polímeros, metais e de alguns tipos de materiais compósitos. A sinterização de polímeros é técnica amplamente utilizada em vários ramos industriais, como a indústria automobilística, eletro-eletrônica, etc. São exemplos de compósitos obtidos por processo de sinterização, as ferramentas de carbonetos (ou carbetos), peças e componentes de fibra de vidro, compósitos metal-cerâmicos resistentes ao calor (refratários), materiais abrasivos, etc.” <http://www.cienciadosmateriais.org/index.php?acao=exibir&cap=22>

essas aplicações iniciais vão gerando aprendizado e propiciam uma progressiva redução dos custos de produção, a competição entre as velhas e as novas tecnologias vai se estendendo aos mercados de maiores volumes e o processo de aprendizado vai definindo a competição em favor das novas tecnologias.

Ao transportar esse tipo de processo produtivo para a Indústria 4.0 adiciona-se flexibilidade à produção, garantindo a eficiente customização de produtos com grande liberdade. Com efeito, entusiastas e especialistas imaginam a aplicação desse tipo de tecnologia não só em âmbito industrial, mas também o uso doméstico, tendo grande impacto nos modelos de negócio de criação e disponibilização de produtos de baixa complexidade.

- Princípios relacionados:

Os princípios mais importantes relacionados à manufatura aditiva no contexto da Indústria 4.0 são: Interoperabilidade, dado que esse tipo de processo permite a fabricação de componentes em qualquer equipamento que receba sua versão digital; Orientação ao serviço, uma vez que facilita o enquadramento do processo de produção como serviço prestado entre elementos da fábrica inteligente via rede digital; e Modularidade, devido à grande flexibilidade de produzir variados tipos de componentes sem alteração do arranjo físico do equipamento.

- Desafios:

Os grandes desafios para a implantação de Impressão 3D e outras formas de Manufatura Aditiva em escala na Indústria 4.0 são: Custo dos equipamentos, que vem caindo, mas ainda representa uma barreira de entrada importante para a adoção em massa; Variedade e propriedades mecânicas de materiais, outro fator em desenvolvimento, já sendo possível utilizar ligas metálicas e cerâmicas além dos pioneiros polímeros – nesse contexto ainda é um desafio a ser enfrentado a mistura de materiais em um mesmo componente; Precisão e acabamento, que ainda são relativamente precários em relação a processos comuns de fabricação subtrativa.

- Áreas do conhecimento mais relevantes:

Ciência dos Materiais, Química, Engenharias de Produção, Mecatrônica e de Controle e Automação.

## Inteligência artificial

- Definição:

A inteligência artificial é definida pela capacidade de computadores de realizar tarefas tipicamente associadas exclusivamente a seres dotados de inteligência. Idealmente, um elemento que exiba inteligência artificial será capaz de avaliar seu ambiente, processar informações de forma flexível, aprender com novas experiências e maximizar suas chances de sucesso em seus objetivos.

Alguns exemplos de objetivos de curto e médio prazo associados ao desenvolvimento de inteligência artificial são: processamento e reconhecimento de imagens; compreensão e criação de discurso com linguagem natural; navegar por e manipular elementos físicos em espaço desconhecido de forma autônoma; e aprender regras e estratégias de vitória em jogos complexos.

Também são definidos objetivos de longo prazo para sistemas inteligentes, cuja capacidade de raciocínio possa, discutivelmente, se igualar (ou mesmo ultrapassar) a humana: gerar ideias novas de forma criativa; entender, interagir e demonstrar reações sociais, de empatia e emocionais (*social intelligence*); conseguir compreender argumentos, problemas e intenções e contextualizá-los, de forma a tomar decisões e interagir com eles de forma humana (*general intelligence* ou *strong AI*).

- Princípios relacionados:

Os principais princípios viabilizados pelo desenvolvimento da Inteligência artificial são: Interoperabilidade, uma vez que a comunicação entre elementos inteligentes se torna mais flexível e garante o entendimento e colaboração para alcançar objetivos; Descentralização, pois máquinas inteligentes podem tomar decisões autônomas sem a necessidade de uma central de comando; e Modularidade, possibilitada pela capacidade do sistema de interagir e se integrar em diferentes funções e arranjos durante a cadeia de valor.

- Desafios:

Mesmo que grandes avanços estejam ocorrendo em diversas aplicações de inteligência artificial nos últimos anos, ainda há grande debate sobre a real capacidade de computadores, ao menos os que possuímos hoje, de replicar o raciocínio humano de forma ampla. Computadores já são capazes de vencer humanos sistematicamente em jogos e atualmente se aproximam da habilidade humana de dirigir veículos, mas ainda há um longo caminho para tarefas de mais alto nível intelectual.

Os esforços se dividem entre o desenvolvimento tecnológico de máquinas com maior capacidade de computação e algoritmos e técnicas de computação avançados; e o estudo e

compreensão do funcionamento da mente humana, que ainda apresenta grandes questionamentos não resolvidos.

Discute-se também, em âmbito ético e filosófico, quais os limites devem ser estabelecidos a sistemas com inteligência artificial de alto nível de forma a garantir sua atuação de forma benéfica à humanidade.

- Áreas do conhecimento mais relevantes:  
Ciência da computação, matemática, estatística, psicologia e filosofia.

### **Inteligência artificial e jogos de tabuleiro**

O desejo de produzir computadores com inteligência comparável à humana é tão antigo quanto a própria computação e uma das formas mais simbólicas de demonstrar a capacidade de raciocínio de uma máquina é fazê-la derrotar um ser humano em um jogo que representa o ápice dessa inteligência.

Em 1985 engenheiros da IBM iniciaram um projeto que daria vida ao super-computador batizado de “*Deep Blue*”, cujo objetivo era superar jogadores de xadrez seguindo as regras dos campeonatos internacionais (incluindo os limites de tempo).

Em 1996 ocorreu a primeira partida oficial entre o *Deep Blue* e o então campeão mundial, Garry Kasparov – considerado por muitos o melhor jogador de todos os tempos – que acabou com o placar de 4 a 2 para o jogador natural do Azerbaijão e radicado na Rússia. Não obstante, durante a série de 6 jogos o *Deep Blue* foi capaz de, pela primeira vez, vencer uma partida contra o campeão mundial nos limites de tempo (1 vitória de *Deep Blue*, 2 empates e 3 vitórias de Kasparov).

Em 1997 ocorreu uma revanche entre Kasparov e a versão melhorada do computador da IBM. Apesar de polêmico, o confronto sagrou *Deep Blue* como primeiro computador “campeão mundial” pelo placar de 3,5 a 2,5 (2 vitórias de *Deep Blue*, 3 empates e 1 vitória de Kasparov). [<https://www.theguardian.com/theguardian/2011/may/12/deep-blue-beats-kasparov-1997>].

Já em 2016 o software *AlphaGo*, desenvolvido por uma divisão especial do Google, venceu o sul coreano Lee Sedol, 18 vezes campeão mundial de “Go” (jogo de estratégia muito popular em países asiáticos e considerado como o mais complexo jogo de tabuleiro do mundo) pelo placar de 4 a 1.

O programa desenvolvido pelos engenheiros da empresa do Vale do Silício é capaz de simular partidas com adversários virtuais e aprender com seus erros durante esses confrontos, melhorando sua estratégia de maneira extremamente rápida e eficaz.

Go possui regras muito simples, mas o número de combinações no tabuleiro é gigantesco – há mais posições possíveis em Go do que átomos no universo. Especulava-se, antes das primeiras partidas do AlphaGo, que um computador capaz de vencer campeões do jogo levaria ao menos 10 anos para ser desenvolvido, pois o jogo exige níveis de criatividade, intuição e senso crítico que, acreditava-se, somente um humano poderia ter.

[<http://www.theatlantic.com/technology/archive/2016/03/the-invisible-opponent/475611/>]

### Colheita de energia (Energy harvesting)

- Definição:

O conceito de Colheita de Energia (do inglês *Energy Harvesting*) trata do conjunto de técnicas e mecanismos que buscam aproveitar pequenas quantidades de energia de processos físicos e mecânicos ou do ambiente (como energia solar, do vento, gradientes de salinidade, campos eletromagnéticos e gradientes de temperatura) e transformá-las em energia útil.

Esse tipo de tecnologia permite aumentar a eficiência energética de equipamentos e garantir a autonomia de sensores e transmissores dispersos através das plantas industriais.

Com cada vez mais componentes eletrônicos, a geração distribuída de energia se torna fator decisivo para a viabilização e robustez de produtos e equipamentos inteligentes.

- Princípios relacionados:

O princípio de Indústria 4.0 mais afetado pelo desenvolvimento de técnica de colheita de energia é a Modularidade, pois torna os componentes mais independentes de uma infraestrutura centralizada presente na fábrica inteligente, facilitando modificações de layout ou adição de novos módulos.

- Desafios:

Por definição os equipamentos de *energy harvesting* devem lidar com pequenas quantidades de energia disponíveis em diversos tipos de fenômenos. Dessa maneira, são componentes miniaturizados, sensíveis e com alto grau de precisão de fabricação, tornando seu projeto e fabricação desafios tecnológicos importantes, que devem ser enfrentados de forma quase independente para cada tipo de fonte.

Paralelamente ao desenvolvimento de formas de colher a energia é necessário possuir formas eficientes de armazenamento e equipamentos eletrônicos especialmente projetados para poupar energia em seus processos.

- Áreas do conhecimento mais relevantes:  
Física, química, engenharias elétrica e mecânica.

### Realidade aumentada (AR)

- Definição:

Realidade aumentada é a sobreposição computacional de elementos virtuais sobre o ambiente físico do usuário em tempo real, modificando ou incluindo elementos visuais e/ou auditivos que complementam sua experiência.

Em contraposição à realidade virtual (VR) que cria um ambiente totalmente novo e não conectado com elementos reais, a AR captura informações, cria um modelo virtual da realidade e usa como base para a geração de elementos gráficos, de vídeo, sonoros ou de localização.

Aplicada ao ambiente industrial essa tecnologia pode ser muito útil para incluir de forma eficiente operadores humanos em uma fábrica inteligente. Com dados e modelos já disponíveis sobre diversos processos via IoT, equipamentos de AR poderiam fornecer informações importantes aos humanos na execução de processos.

- Princípios relacionados:

O princípio de Indústria 4.0 mais importante relacionado ao desenvolvimento da realidade aumentada é o de Virtualização, pois cria uma nova camada de aquisição e modelização da realidade atrelada aos equipamentos utilizados pelos operadores, integrando-os com a rede de sensores inteligentes presentes na planta e enriquecendo a rede de dados. Além disso podemos destacar a Capacidade de resposta em tempo real, necessária para o desenvolvimento da AR que pode contribuir para a mais eficiente reação de outros sistemas integrados da Indústria 4.0.

- Desafios:

As soluções de realidade aumentada vêm se desenvolvendo rápido e ganhando algumas aplicações em massa no mercado de tecnologia. Para aplicação em ambiente industrial, entretanto, ainda há desafios a serem enfrentados. O principal deles é a confiabilidade e estabilidade de conexão dos equipamentos, uma vez que se tornariam parte essencial do trabalho dos operadores, podendo inclusive colocar sua segurança em risco em



caso de falhas de comunicação. Consideram-se também as questões de custos, dimensões, ergonomia e forma de disponibilização das informações (Experiência do usuário) como desafios importantes desta tecnologia.

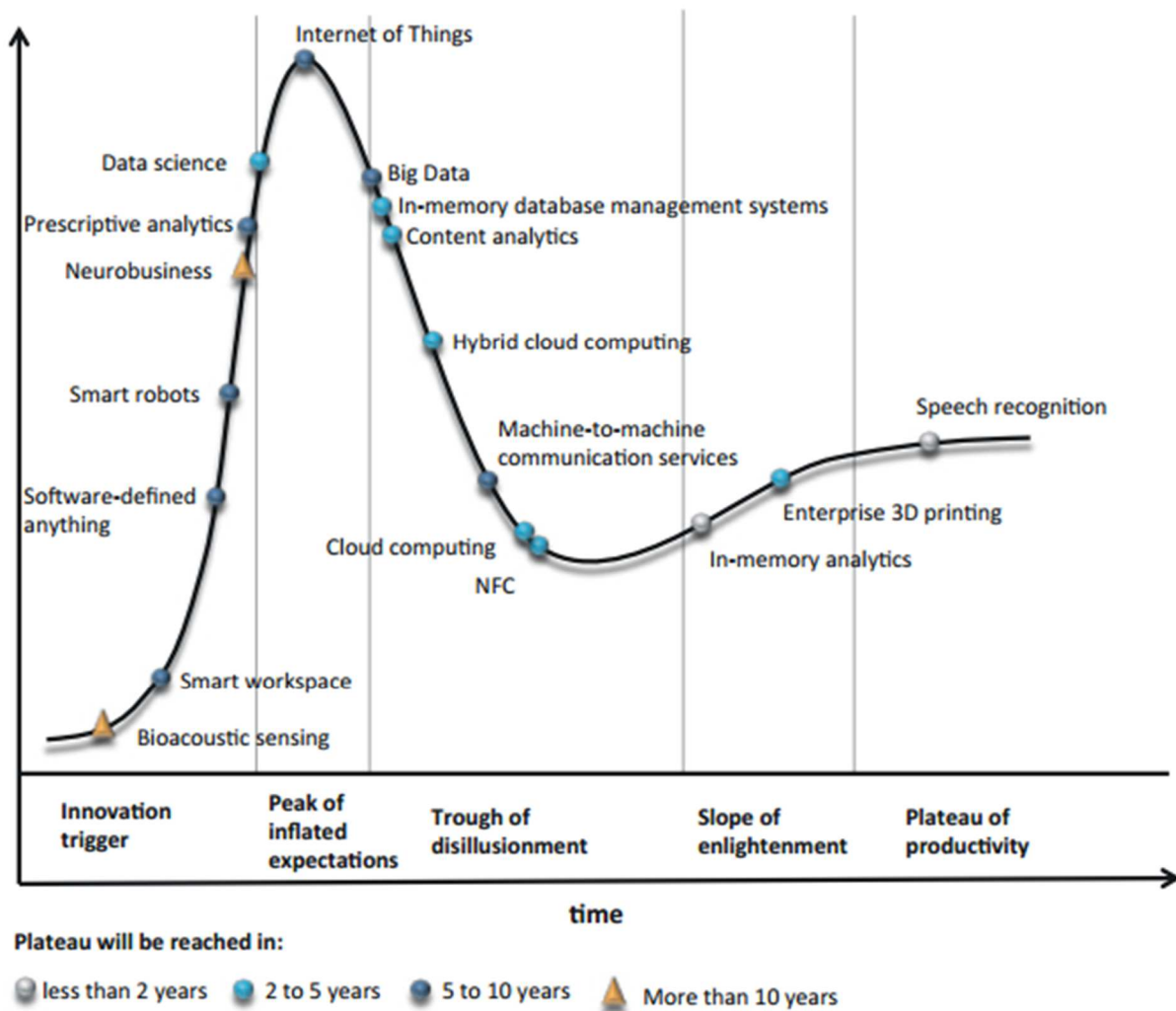
- Áreas do conhecimento mais relevantes:  
Ciência da Computação, TI e Design.

Em resumo, as relações entre tecnologias e princípios básicos para a implantação da Indústria 4.0 podem ser visualizados no quadro a seguir.

**Quadro 1: relações entre tecnologias e princípios básicos para a implantação da Indústria 4.0**

| Tecnologia              | Interoperabilidade | Virtualização | Descentralização | Resposta em tempo real | Orientação ao serviço | Modularidade |
|-------------------------|--------------------|---------------|------------------|------------------------|-----------------------|--------------|
| CPS                     | X                  | X             | X                |                        |                       |              |
| Big Data                |                    | X             |                  | X                      |                       |              |
| Computação em nuvem     |                    |               | X                | X                      |                       |              |
| IoT                     | X                  |               |                  |                        |                       |              |
| IoS                     | X                  |               |                  |                        | X                     | X            |
| Manufatura Aditiva      | X                  |               |                  |                        | X                     | X            |
| Inteligência Artificial | X                  |               | X                |                        |                       | X            |
| Colheita de Energia     |                    |               |                  |                        |                       | X            |
| Realidade Aumentada     |                    | X             |                  | X                      |                       |              |

É importante pontuar que durante o desenvolvimento de tecnologias disruptivas é comum que haja distorções em prever seus impactos, exagerando ou menosprezando possíveis efeitos de sua aplicação ao longo do tempo. Uma figura muito interessante para ilustrar esse comportamento pode ser observada abaixo.



Fonte: IEC (2015)

Nota-se também nesse esquema que, de acordo com o estudo do IEC de 2015, o tempo para atingir o estado de maturidade das tecnologias citadas como essenciais para o desenvolvimento da Indústria 4.0 varia na faixa de 2 a 10 anos, com exemplos de tecnologias já bastante evoluídas - como a Impressão 3D - e outras ainda em fase de maturação - como a Internet das Coisas.

Com isso em mente, passa-se à próxima seção, dedicada ao estudo de desafios e oportunidades aos pioneiros em aplicação de soluções da Indústria 4.0.

### 3. Cenário futuro e posicionamento do Brasil e da indústria nacional

#### 3.1. A geoeconomia da Indústria 4.0

A indústria 4.0 promete grandes transformações no mundo da produção e do consumo. Desde que a indústria se tornou o alicerce principal da economia, do crescimento econômico e sobretudo dos ganhos de produtividade (ainda no século 18, na Inglaterra), e após três ondas importantes de transformações (dotadas de amplitude, profundidade e intensidade), será a primeira vez que as transformações que estão sendo vislumbradas terão sido construídas a quatro mãos, entre o setor privado e as instituições públicas de modo colaborativo. É evidente que as empresas e os mercados possuem um papel destacado, em boa medida orientado por mudanças tecnológicas que são apenas parcialmente previsíveis e planejáveis. Entretanto, muitas de suas ações são orientadas por um desenho de futuro que vem sendo construído de modo concertado, como evidenciam os documentos de orientação dos governos alemão<sup>8</sup> e estadunidense<sup>9</sup>.

O peso das ações públicas varia nos dois principais países que lideram o processo, assim como são diferentes os instrumentos, mas tanto a Alemanha como os Estados Unidos estão pavimentando o caminho para uma nova realidade industrial com renovado protagonismo para a manufatura e os serviços associados. Este item desenvolve um conjunto de argumentos com o intuito de visualizar a nova geoeconomia associada à Indústria 4.0.

Na Alemanha, país onde o termo foi cunhado e que possui o plano mais estruturado e detalhado para promover a indústria 4.0, entre todos os países relevantes para o tema, os três partidos principais (CDU, CSU, SPD) assinaram um compromisso para levarem adiante o projeto independentemente de possíveis mudanças governamentais. Esse compromisso indica a importância do tema para o país, mas também revela um aspecto importante das políticas públicas bem sucedidas: a necessidade da sua permanência para além de mandatos presidenciais ou parlamentares. Como as políticas possuem um intervalo grande entre os esforços e os resultados (ou entre o plantio e a colheita), mudanças governamentais devem evitar interrupções em programas de longo alcance, pois nesse caso eles teriam apenas os custos (já incorridos) e nenhum resultado (que não o seu próprio descrédito e a fragilização da ação pública). Evidentemente, uma condição crucial para que um programa possa ter longa vida é que ele tenha sido bem estruturado, que ele dê resposta a um problema real e

---

<sup>8</sup> Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, Industrie 4.0 Working Group, Abril de 2013.

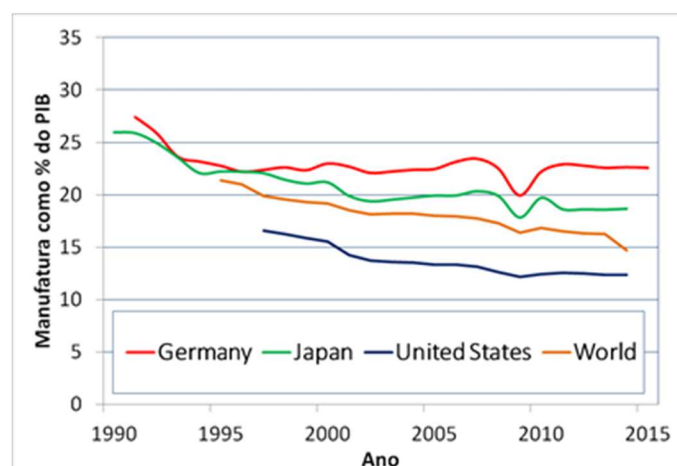
<sup>9</sup> Report to the President: Accelerating U.S. Advanced Manufacturing, Executive Office of the President - President's Council of Advisors, Outubro de 2014.

percebido como relevante e prioritário, e que as partes relacionadas (ou stakeholders) se sintam representadas no caminho e na solução propostos.

Os EUA possuem também uma política bem estruturada para esta grande transformação que se anuncia, mas o termo utilizado é manufatura avançada. A visão do que vai ocorrer na produção e no consumo de bens (e serviços associados) não possui muitas diferenças relevantes entre a Alemanha e os Estados Unidos. Entretanto, é possível dizer que ambos os países se posicionam de forma substancialmente diferente com relação às grandes transformações que se anunciam.

A Alemanha é, entre os países ocidentais, aquele que tem conseguido sustentar uma indústria vigorosa e de dimensões ainda elevadas, em comparação com qualquer dos países relevantes. Em termos de participação da indústria de transformação no produto interno bruto, a Alemanha possui aproximadamente o dobro da participação que se verifica nos EUA (o índice do Japão assemelhava-se ao da Alemanha até muito recentemente, mas foi substancialmente reduzido e está hoje entre o da Alemanha e o dos EUA). Os EUA, diferentemente da Alemanha, reduziram o peso da sua produção industrial (como proporção do PIB), mas uma parte importante dessa perda de conteúdo industrial em território americano decorre da transferência pelas próprias empresas da sua produção para plataformas industriais localizadas alhures - no México, em um primeiro momento, depois na Ásia, mas em muitos outros lugares também. As grandes empresas alemãs também transferiram partes de sua produção para outros lugares - para o leste europeu, por exemplo; e também para a Ásia (e a China em especial), mas não na mesma intensidade.

**Gráfico 1: Participação da Indústria de Transformação no PIB (Alemanha, Estados Unidos e Japão)**



Fonte: Banco Mundial.

Uma das características do sistema industrial alemão é a existência de um tecido fortemente interconectado de empresas médias (e pequenas), com relações recíprocas muito intensas, geradoras de efeitos que só podem ser produzidos e adequadamente apropriados em um ambiente de proximidade (num processo de cluster) que facilita o estabelecimento de relacionamentos de longo prazo e uma co-evolução redutora de riscos. É este sistema industrial que se encontra ameaçado pela emergência desde os anos 1990 e a consolidação mais recente da potência industrial chinesa, cujos volumes de produção gigantescos compensam suas notórias deficiências em termos de níveis de produtividade. É em resposta a esta ameaça que a indústria alemã está promovendo o movimento Indústria 4.0.

Os EUA encontram-se em posição diferente da Alemanha em pelo menos dois aspectos. Em primeiro lugar, como indicado, as suas empresas decidiram competir com a produção de origem chinesa indo produzir na China: se não podes vencê-los (ou enquanto não podes vencê-los), junta-te a eles. Mas ao mesmo tempo em que essas empresas foram à China produzir a baixos custos, encolhendo a base manufatureira em território estadunidense, o sistema industrial dos EUA conseguiu preservar uma forte liderança em várias indústrias e outras atividades de apoio aos setores industriais, inclusive muitas daquelas que serão cada vez mais importantes para a redefinição dos padrões de produção e de consumo.

Uma importante diferença entre a Alemanha e os EUA consiste precisamente no grau de adesão e até mesmo de liderança das suas empresas com relação ao movimento de globalização produtiva. Seja em direção ao México e às chamadas maquilas, seja em direção a diversos países da Ásia (desde a Coreia do Sul ainda nos anos 1970 e depois vários outros países até mais recentemente a China e o Vietnã), as grandes empresas dos EUA não hesitaram em construir vantagens empresariais independentemente dos possíveis efeitos que essa estratégia pudesse ter na competitividade da sua economia nacional. A Alemanha não trilhou, ou não pôde trilhar, com a mesma intensidade esse caminho. Por mais que as grandes empresas alemãs (como a Siemens) tenham uma atuação global e bases de produção espalhadas pelo mundo, a importância superior das pequenas e médias empresas impede o recurso à estratégia global que caracterizou as empresas dos EUA. O movimento de deslocalização ocorreu de forma mais limitada e com maior proximidade e deu-se sobretudo em relação aos países do Leste da Europa.

Existe uma segunda diferença fundamental entre os dois protagonistas principais da indústria 4.0 e da manufatura avançada e ela refere-se à importância que possuem em cada uma delas as empresas da chamada economia digital e dos vários modelos de negócios extraordinariamente inovadores. São expoentes deste mundo novo empresas como Netflix,

Airbnb, Twitter, Uber, que se somaram às mais tradicionais do mundo digital: Google, Apple, Facebook, Amazon, por sua vez uma segunda geração com relação à pioneira Microsoft. Esta pequena dezena de empresas fortemente digitais está redefinindo os padrões de consumo e os modelos de negócio associados, arrastando com isso uma série encadeada de transformações, que em muitos casos são verdadeiros abalos sísmicos.

Os ativos detidos por essas empresas são em si mesmos muito importantes para o novo sistema industrial, mas é possível dizer que o ativo crucial do mundo manufatureiro que se anuncia por detrás do termo indústria 4.0 (ou, manufatura avançada) é mesmo a forte presença no universo dos consumidores, que as coloca por isso em condições de conhecer e possuir relacionamento ativo e direto com centenas de milhões de indivíduos e grupos, sendo além disso capazes de deles obter grandes volumes de informações sobre as suas demandas explícitas e os seus comportamentos e interesses.

É difícil fazer um vaticínio sobre o futuro das empresas do mundo digital, representado neste momento pelos dois grupos - o precursor e o desenvolvedor de novos modelos. É impossível imaginar o que serão essas empresas em 10 ou 20 anos, se terão as dimensões - e a força - que tiveram as grandes empresas industriais (como a General Motors) no auge do modelo industrial fordista, ou se pura e simplesmente desaparecerão tragadas por outra onda de inovadores radicais. Independentemente desse vaticínio, que é irrelevante para os propósitos deste documento, é difícil imaginar que as suas marcas não sejam profundas e duradouras.

As evidências são abundantes. O mundo dos cinemas e a televisão nunca mais serão os mesmos depois da Netflix e seus 100 milhões de assinantes no ano de 2016. As redes de hotéis (e em menor proporção os restaurantes) receberam a concorrência inesperada de proprietários de imóveis em geral e dos próprios ex-clientes, que se tornaram ofertantes de alojamentos: em menos de 10 anos (a empresa foi fundada em 2008), está presente em quase 200 países, mais de 30 mil cidades e oferece permanentemente 1,5 milhão de anúncios. O modelo da Airbnb tem alguma similaridade com o do Uber, que permite transformar (quase) qualquer proprietário de veículo em provedor de serviços de transporte (de passageiros, principalmente; mas também de produtos). Tendo faturado 500 milhões de dólares em 2014 e 1,5 bilhão em 2015, a empresa deverá faturar mais de 4 bilhões em 2016. O valor de mercado da Uber superou, em apenas 6 anos de existência, o de empresas centenárias como a Ford ou a General Motors, cujos automóveis integram como componente material os serviços de transporte da empresa californiana.

Cada uma destas quatro empresas ilustra processos de ruptura em mercados importantes, processos que possuem características destruidoras de ambientes conhecidos e prevalentes. Ao lado dessas empresas que oferecem produtos e serviços novos para

demandas pré-existentes, as empresas digitais precursoras (Google, Apple, FaceBook e Amazon) são hoje globais e possuem extraordinária capacidade de relacionamento com os indivíduos e os consumidores. Em realidade, é possível, a partir das informações que essas empresas acumulam e das tecnologias que dominam, converter indivíduos em consumidores ou, pelo menos, padrões de comportamento em possibilidades de consumo.

A despeito do desenho inteligente da indústria 4.0, a comparação entre a Alemanha e os EUA parece favorecer a continuidade do predomínio no século 21 daquele que foi líder durante boa parte do século 20. E a China, frente a essas novas trajetórias, como se posiciona? Qual é o seu lugar? Quais as suas chances de conquistar o papel que lhe vinha sendo atribuído em decorrência de seu prolongado e vertiginoso crescimento iniciado com as reformas econômicas de 1979?

Um elemento crucial da resposta envolve o reconhecimento de que a indústria 4.0 é, até mais do que a manufatura avançada, uma resposta ao desafio representado pela transformação da China em pólo principal da produção manufatureira global. Nestes pouco mais de 30 anos transcorridos entre o início das reformas e o momento atual, o mínimo que se pode dizer é que a China alcançou resultados extraordinários - a qualquer título, mas sobretudo com relação ao seu passado imediatamente anterior e aos prognósticos que se faziam sobre as suas possibilidades. É possível projetar a continuidade da trajetória chinesa recente em termos de crescimento e de acúmulo de competências industriais? O crescimento chinês, e sobretudo o crescimento industrial, tem estado cada vez mais estimulado pelo mercado interno, seja em termos de consumo ou de urbanização e de investimentos em infraestrutura. Assim sendo, o papel quantitativo que as exportações desempenham no crescimento econômico da China tem se reduzido. Mas uma redução do peso relativo das exportações manufatureiras chinesas é muito diferente de uma retração em termos absolutos. E a indústria 4.0 e a manufatura avançada representam, para a indústria chinesa, a primeira ameaça real de subtração de uma importante fonte de dinamismo econômico e, ao mesmo tempo, de perda da fonte de dinamismo tecnológico e de atração de investimentos de todos os tipos - inclusive tecnológicos e industriais avançados - que o seu papel de centro manufatureiro global lhe proporcionava.

As razões que explicam essa dupla ameaça decorrem da natureza do que conhecemos como indústria 4.0 e manufatura avançada. Após dois séculos em que a escala crescente das unidades de produção e o tamanho dos lotes foram, em muitas indústrias, fatores decisivos a explicar os ganhos de competitividade, o novo modelo industrial promete custos de escala elevada para lotes unitários, uma combinação improvável antes do advento das tecnologias e dos sistemas industriais que estão sendo combinados para este novo salto adiante que a Alemanha e os Estados Unidos estão liderando. É plausível, e mais do que isso,

é provável que as vantagens da grande escala e dos custos reduzidos da concentração de boas frações da produção mundial na China se reduzam, quiçá sejam eliminadas, com o novo modelo.

Mas não estará a China preparada para dar, ela também, o salto para o modelo novo? A resposta envolve dois movimentos. Primeiro: no novo modelo a China teria, na melhor das hipóteses, as mesmas condições que a Alemanha e os Estados Unidos. . Se o novo modelo reintegra as cadeias de produção localmente, se ele é capaz de gerenciar de maneira mais conveniente volumes e variedade, então haverá uma reaproximação entre a produção e o consumo, entre a indústria e o mercado, de modo que os grandes fluxos de exportação da China em direção aos grandes mercados europeus e norte-americanos sofram potencialmente importantes reduções. A China poderá adotar o novo modelo, mas nele ela estará muito menos preparada do que estava no modelo anterior, que combinava efeitos de escala com custos reduzidos dos fatores de produção. Se ademais o modelo industrial emergente entregar, como promete, a individualização de cada produto com a sua história produtiva, então o terreno estará preparado para a criação de novas certificações de todos os tipos, inclusive as relacionadas ao combate às emissões que produzem gases de efeito-estufa e que possuem por isso efeitos nocivos sobre as mudanças climáticas

Mas é muito improvável que a China possa, com a mesma facilidade que a Alemanha, os Estados Unidos ou o Japão, realizar o seu deslocamento para o novo modelo industrial; e muito menos liderar essa migração. O sucesso do modelo escala-volume-custos orienta as decisões empresariais e define os parâmetros do modelo. E por mais que os custos do trabalho venham se elevando em muitas regiões industriais chinesas, a oferta de mão-de-obra migrante de outras regiões e a migração industrial para novas localidades oferece ao modelo vigente uma sobrevida imediatista, sendo difícil imaginar decisões empresariais (microeconômicas) em direção ao modelo industrial emergente simplesmente para antecipar tendências futuras. As decisões microeconômicas obedecem a outra lógica.

Essas tendências relacionadas com a Indústria 4.0 terão impactos importantes nos fluxos de comércio globais e nos fluxos entre os principais países industriais. O principal desequilíbrio indicado nos fluxos do quadro verifica-se entre os EUA e a China, que exporta US\$ 433 bilhões para os EUA, que vende à China US\$ 300 bilhões menos. E enquanto a China vende US\$ 220 bilhões de máquinas aos EUA, compra apenas US\$ 30 bilhões. Esses US\$ 190 bilhões de saldo comercial em máquinas poderão, com a Indústria 4.0, ter o seu sinal invertido. É bastante provável que os investimentos que serão feitos para a Indústria 4.0 tenham uma composição muito diferente, em termos de equipamentos e origem desses equipamentos, do que os investimentos que vêm sendo realizados nos últimos 10 ou 20 anos.



**Quadro 2: Fluxos comerciais entre os principais países industriais - 2014 (US\$ bilhões)**

| Exp      | Imp. | Alemanha | EUA | Japão | China |
|----------|------|----------|-----|-------|-------|
| Alemanha |      |          | 121 | 23    | 97    |
| EUA      |      | 62       |     | 67    | 134   |
| Japão    |      | 24       | 128 |       | 131   |
| China    |      | 101      | 433 | 167   |       |

**Quadro 3: Participação das máquinas nos fluxos comerciais entre os principais países industriais - 2014 (%)**

| Exp      | Imp. | Alemanha | EUA | Japão | China |
|----------|------|----------|-----|-------|-------|
| Alemanha |      |          | 23% | 22%   | 37%   |
| EUA      |      | 27%      |     | 21%   | 22%   |
| Japão    |      | 53%      | 35% |       | 41%   |
| China    |      | 50%      | 51% | 45%   |       |

### 3.2. Três grandes desafios da indústria 4.0 para o Brasil

A indústria brasileira encontra-se, desde meados dos anos 1970, em busca de um novo modelo. O II PND pode ser considerado o último plano estruturado para a indústria brasileira e os seus resultados envolvem muito mais o completamento do padrão metalomecânico e químico do que qualquer iniciativa mais ambiciosa em termos das indústrias de época emergentes – a microeletrônica e a informática. O II PND avançou de forma muito importante na estruturação de novos setores industriais ou no aumento substancial das suas capacidades e escalas de produção. Esses avanços se tornaram importantes sobretudo nos anos 1980 (siderurgia, metais não ferrosos, petroquímica; celulose, etanol) e 1990 (aumento da produção de petróleo), quando essas novas indústrias passaram a fazer uma contribuição importante para a sustentação da balança de pagamentos, reduzindo importações e agregando novas exportações.

A maturação tardia dos projetos associados à estratégia do II PND, que grosso modo corresponderia aos anos da presidência de Ernesto Geisel, teve vários efeitos importantes sobre o funcionamento da economia nos anos 1980 e também sobre as percepções sociais e coletivas quanto ao seu significado. Por um lado, é fato amplamente reconhecido (pelos empresários e por estudiosos e analistas) que desde 1976 os investimentos do II PND passaram a sofrer consideráveis atrasos e a estratégia associada ao Plano, como um todo, foi fragilizada. Embora em todos os grandes projetos tenham ocorrido atrasos, pelo menos, ou amputações, em vários casos, é possivelmente o Programa Nuclear que ilustra, de modo radical, as ocorrências que perturbaram a execução do Plano e são reveladoras da impotência do poder centralizado para soldar os interesses de todas as áreas envolvidas na execução do grande desenho da estratégia do II PND.

Esse desenho recebeu dos estudiosos interpretações – pelo menos duas – que podem ser consideradas substancialmente diferentes. Para uns, o II PND foi um projeto megalomaniaco inevitavelmente destinado ao fracasso; e para outros foi um plano ousado e ambicioso cujos resultados podem ter ficado aquém do esperado, mas foram, não obstante, muito expressivos.

É possível encontrar elementos de verdade e aderência aos fatos em ambas as interpretações. O II PND pretendia transformar duplamente o padrão de crescimento industrial do Brasil: dos bens de consumo (sobretudo os duráveis – automóveis e eletrodomésticos) para os bens de produção (bens de capital e insumos básicos); e da liderança das grandes empresas estrangeiras (associadas ao padrão dos duráveis) para o binômio empresas estatais-empresas nacionais. É impossível não reconhecer que este grande duplo objetivo fracassou.

Mas também é impossível não reconhecer que o II PND implantou os últimos grandes blocos de investimentos – sobretudo nos setores de insumos básicos – da indústria brasileira. A petroquímica brasileira precede o II PND, mas os dois grandes pólos petroquímicos brasileiros – Camaçari e Triunfo – estão associados ao Plano. A siderurgia, a siderurgia dos não ferrosos, a indústria florestal e a produção de celulose são todas indústrias que receberam grandes impulsos do II PND. O enfrentamento das restrições básicas do crescimento industrial deu-se também na produção de energia, onde ao lado do reforço às grandes hidrelétricas houve transformações que perduram até os dias de hoje – a produção de álcool de cana-de-açúcar e de petróleo na plataforma oceânica. O fracasso cabal do programa nuclear e de vários outros projetos não é suficiente para que se desconheça ou negue que a indústria deu, no II PND, um passo muito vigoroso; e que ele terá conferido à indústria as bases para que nos anos 1980 ela pudesse colher resultados muito significativos.

Esta longa digressão sobre a importância e o significado do II PND tem o propósito de facilitar o entendimento do movimento da indústria nos anos 1980: ela prossegue em sua trajetória, tardia, de completar os investimentos dos projetos do II PND e de digerir as capacidades produtivas que foram criadas. Mas esse prosseguimento, que ajuda a sustentar a economia e a balança comercial brasileira (desde 1979, quando a crise eclode modo mais claro, e após a crise da dívida, em 1982), também ajuda a mascarar o fato de que o mundo se encontrava àquele momento em plena migração para um novo padrão de produção industrial, de desenvolvimento tecnológico acelerado e de competitividade em bases cada vez mais globalizadas. É esse o momento em que o Brasil e a sua indústria perdem o passo. E a importância dessa assincronia de trajetórias não pode ser exagerada.

O estabelecimento de um paralelo entre a energia nuclear e a microeletrônica pode ser muito útil para compreendermos as dificuldades que enfrentam as políticas industriais brasileiras, em diferentes épocas. O paralelo começaria pelo reconhecimento de que em ambos os casos havia uma estratégia, mas ela nunca foi capaz de soldar os interesses envolvidos. No programa nuclear, a diplomacia e o presidente da República foram capazes de formular uma estratégia e implementar os primeiros passos, mas fracassaram na resistência dos vários segmentos da burocracia estatal, cada qual com suas agendas prioritárias, que em nenhum caso puderam ser mais do que soldadas de modo contrariado, para logo sem seguida voltarem à sua fragmentação. No caso do programa nuclear, diferentemente de setores novos, o elemento crítico envolveu a compatibilização dos interesses estabelecidos, sobretudo os do setor energético convencional (hidrelétricas). Em que pesem serem setores estatais ou públicos, cada um revelou resistências que seriam fatais para o desfecho do programa.

O paralelo com a microeletrônica decorre de ter sido, também ela, objeto de uma política com antecedentes remotos (desde os anos 1960), mas que foi incapaz de soldar todas as vertentes envolvidas. Neste caso, com uma agravante importante: os setores envolvidos eram predominantemente e preponderantemente privados e extremamente fragmentados. Em primeiro lugar, a base de mercado mais importante para essa indústria é a de eletroeletrônicos de consumo, que à época (anos 1980) já havia se tornado em grande medida uma indústria importadora-montadora após a sua transferência para Manaus. O eixo ligado à indústria de telecomunicações ensejou estratégias de cumprimento da lei com espaços apenas muito limitados para desenvolvimentos tecnológicos por parte de empresas locais. Em terceiro lugar, nos segmentos que seriam hoje considerados propriamente de informática, os equipamentos de grande porte, os minicomputadores e os computadores pessoais, ensejaram vertentes de política muito díspares e dificilmente integráveis de modo consistente. Por último, mas não menos importante, vários dos setores usuários de produtos

de microeletrônica em nenhum momento viram as suas demandas contempladas e ofereceram grande resistência à política adotada.

Diferentemente do que ocorreu na química e na metalomecânica, as duas bases da indústria do século XX, o Brasil não foi capaz de constituir um sistema industrial eletrônico. E aqui, o paralelo dessa incapacidade da microeletrônica é com a farmacêutica e a química fina de uma maneira geral. O Brasil foi capaz de construir – com recursos próprios e aportes externos significativos – indústrias metalmeccânicas e eletromecânicas e indústrias químicas de produtos de alto volume (as grandes commodities), mas não foi capaz de fazer o mesmo com a microeletrônica e a química fina. Ambos possuem, em comum, uma importância elevada da tecnologia e do ritmo de mudança tecnológica.

As dificuldades da indústria brasileira desde o final dos anos 1970 possuem interpretações múltiplas, incluindo aquelas que sempre lhe atribuíram um caráter artificial, improdutivo, que contraria as “vocações naturais” e representaria, em consequência, um ônus sobre a sociedade e o consumo. Embora essa versão extrema tenha voltado a conquistar maior influência recentemente, ela é uma caricatura carente de fundamentos que possam ser discutidos e por isso está excluída do leque a ser mencionado aqui.

Em que pese os notáveis avanços que a indústria brasileira alcançou no meio século de industrialização acelerada, e sobretudo entre o início dos anos 1950 e o final dos anos 1970, é forçoso reconhecer algumas características limitadoras de seu potencial dinamizador sobre o conjunto da economia (e do território) brasileiro. O tecido industrial constituído no Brasil até o final dos anos 1970 reproduziu aquele que existia nos países mais avançados, com predomínio dos mesmos setores (metalmeccânico e químico, bases da indústria típica da segunda revolução industrial), mas as empresas estatais e as empresas multinacionais ocupavam, nessa estrutura, posições destacadas, e as empresas nacionais estavam em muitas áreas relegadas a posições secundárias. A indústria de petróleo (incluindo o refino, que foi durante muito tempo o segmento mais importante) constitui uma ilustração da importância do setor produtivo estatal (os demais casos são certamente menos importantes, mas numerosos). O exemplo da indústria automobilística é eloquente quanto ao papel complementar, mas secundário, das empresas privadas nacionais em setores de grande dinamismo, e ele se repete em vários outros setores, cobrindo vastas áreas da indústria (eletrônicos).

Uma segunda característica importante da indústria brasileira ao final dos anos 1970, quando o mundo inicia a sua transição para um novo padrão industrial, é a sua relativamente modesta abertura aos fluxos comerciais. Embora seja impreciso afirmar que a indústria era fechada, uma vez que desde os anos 1950 investimentos de todos os tipos e origens internacionalizaram a base industrial brasileira, os fluxos comerciais de importação e

de exportação eram relativamente modestos. É compreensível que o modelo de industrialização brasileiro, desde os anos 1930 às voltas com uma severa restrição de divisas (decorrente da crise internacional e da limitação da capacidade exportadora), estivesse voltado para o preenchimento do mercado interno e para o aproveitamento das crescentes oportunidades que ele ia oferecendo, com o crescimento da base econômica e o avanço da urbanização e da industrialização. Mas essa característica representa uma limitação e ela possui implicações importantes quando, nos anos 1980 e 1990, a projeção internacional das economias nacionais se dá com maior intensidade, com expoxtações, investimentos e redes empresariais que vão de parcerias pontuais a fusões e aquisições.

Um terceiro elemento a se considerar na caracterização da indústria brasileira que emerge do longo processo de industrialização iniciado ainda no século XIX, quando nasceu a indústria, e reforçada no período 1930-80, é a modéstia dos seus esforços tecnológicos, um fato que muitas vezes é confundido, pelos observadores pouco familiarizados com o setor industrial, com improdutividade ou incompetência industrial. A indústria brasileira realizou um trabalho notável de constituição de uma base abrangente e diversificada, mas os sinais que a orientaram e a rigor a dinâmica que a mobilizou foi a da reprodução de processos e produtos que existiam anteriormente e, em muitos casos, se tornavam visíveis na pauta de importações. Este processo de industrialização foi capaz de produzir um “emparelhamento” em termos daquilo que era produzido e em muitos casos também como era produzido, mas faltavam os elementos de dinamismo tecnológico que foram se tornando crescentemente importantes nos anos 1980 e 1990.

Foi nesse período que várias transformações tecnológicas, econômicas e institucionais modificaram substancialmente o ambiente para a indústria e a dinâmica dos processos competitivos. Aceitando ou refutando a expressão terceira revolução industrial como um fenômeno relevante para caracterizar o movimento industrial desde os anos 1970, é fato que ocorreu uma notável aceleração do progresso tecnológico e numerosas oportunidades foram sendo exploradas pelas empresas mais preparadas, fossem elas herdeiras de longos históricos de desenvolvimento empresarial (a grande maioria) ou empresas emergentes que souberam aproveitar as novas oportunidades surgidas para crescerem aceleradamente e se posicionarem em pontos de grande dinamismo e relevância do sistema industrial em mutação. Quase todos os países relevantes na cena industrial internacional implantaram políticas para promoverem a inserção de suas empresas e de seus sistemas industriais<sup>10</sup> no novo ambiente, mas é forçoso reconhecer que entre os objetivos imaginados por esses esforços nacionais e os resultados alcançados existem importantes diferenças.

---

<sup>10</sup> Mais tarde seria cunhada a expressão “sistemas nacionais de inovação”.

A percepção de que a microeletrônica era um setor estratégico percorreu as políticas nacionais em muitos países relevantes em termos industriais, mas poucos foram aqueles que conseguiram posicionar-se como fabricantes qualificados dos elementos básicos da eletrônica. Todos buscaram, poucos alcançaram. Entretanto, quase todos esses países, incluindo aqueles que não alcançaram os resultados almejados, foram capazes de absorver os elementos fundamentais da revolução microeletrônica, incluindo processos produtivos dotados de graus elevados de automação e eficiência. Esta herança da revolução microeletrônica é um alicerce fundamental para informar a reflexão sobre a nova fase de desenvolvimento produtivo – a indústria 4.0.

Na medida em que se considere que a indústria 4.0, sendo ou não uma ruptura, arranca das bases anteriores, das quais aproveita bases estruturais, elementos humanos e condições funcionais, o grau de desenvolvimento alcançado na etapa anterior representa uma alavanca ou uma trava para o aproveitamento das novas oportunidades que se descortinam.

É muito tentador – na verdade, é quase irresistível – abraçar o sonho da indústria 4.0. Finalmente, os seres humanos poderão dedicar-se a trabalhos cada vez mais remuneradores em termos de realização e de desenvolvimento de atributos humanos, sendo os trabalhos repetitivos deixados para máquinas. Mas por mais que seja tentador pensar nesse novo modelo industrial, é necessário reconhecer que as tecnologias não avançam sozinhas, mas movidas pela dinâmica de um contexto sócio-econômico determinante. A indústria 4.0 emerge em um ambiente em que os consumidores já adquiriram grande familiaridade com produtos de todos os tipos e as suas experiências já superaram o primeiro contato, a compra impulsiva, a compra de familiarização. Os consumidores, cada vez mais, realizam compras conscientes, e desenvolvem hábitos mais elaborados e sofisticados de usufruto das suas experiências de consumo. Essa nova perspectiva dos consumidores possui consequências muito importantes para a indústria 4.0.

O consumo é uma dimensão fundamental da indústria 4.0 – e o consumo em bases contemporâneas, em um modelo típico de sociedades que alcançaram elevado grau de desenvolvimento social e material, que se traduz em padrões de diferenciação muito elevados. Entre as promessas da indústria 4.0 está o alcance de uma produção de “lotes unitários” (cada produto é único) a custos competitivos. Esse modelo produtivo está em sintonia com os padrões de consumo. Consumo totalmente diferenciado (produtos únicos) corresponde a uma produção que necessariamente precisa lidar com produção para cada demanda.

O exame da realidade brasileira revela uma importante dificuldade neste plano, do consumo. O nível de renda médio brasileiro permitiria pensar que as diferenciações de

consumo possíveis estariam em medida suficiente para oferecer estímulos para o avanço da indústria 4.0. Entretanto, o padrão distributivo brasileiro, extremamente concentrado, com amplas camadas das famílias brasileiras confinadas em espaços de consumo em que o elemento preço é o determinante principal – quando não o único – das decisões de compra. É difícil imaginar um obstáculo maior do que esse para a implantação de modelos produtivos de indústria 4.0 de forma ampla no Brasil.

A evolução das estruturas econômica e social brasileiras desde os anos em que se rompeu o crescimento baseado na indústria como articuladora das trajetórias do sistema econômico não favorece em nada as bases brasileiras para a indústria 4.0, seja no âmbito industrial e tecnológico, de um lado, seja, de outro lado, na esfera das ocupações, da renda e do consumo.

As análises que têm sido feitas sobre a indústria 4.0 e as oportunidades e os desafios que ela coloca para o Brasil têm se dedicado sobretudo aos temas tecnológicos e industriais. Essa abordagem pergunta-se sobretudo se a indústria brasileira possui os meios técnicos e econômicos para desenvolver ou assimilar as novas tecnologias típicas da manufatura avançada. Sem pretender diminuir a importância dessa pergunta, parece-nos necessário colocá-la ao lado de outras, que envolvem as implicações para os diferentes espaços geoeconômicos do novo modelo industrial que se avizinha.

Um impacto ainda pouco discutido da indústria 4.0 no Brasil envolve a China. Diferentemente de muitos outros analistas, o sucesso industrial chinês deve-se sobretudo à capacidade que teve o país de manter taxas de investimento – industriais e urbanas – muito elevadas, por um longo período de tempo. Os salários, baixos, se algum dia cumpriram um papel relevante na matéria crescimento industrial e desenvolvimento econômico, em nenhuma hipótese razoável é possível estabelecer que cumpram atualmente uma função relevante; e pode-se afirmar que o crescimento econômico está primordialmente vinculado ao crescimento da demanda e sobretudo do investimento.

O crescimento e o investimento da China, associados que estão a uma acelerada renovação da estrutura de capital fixo da economia, com acelerado aprendizado, poderão alçar a China a uma condição superior na indústria 4.0? A pergunta procede, pois afinal a China surpreendeu quase todos até aqui com um percurso que, em termos econômicos, pode ser considerado “sem falhas”. Estaria a China, que hoje é a manufatura do mundo, vocacionada para assumir, na indústria 4.0, a liderança industrial também em termos tecnológicos? A nossa resposta a essa pergunta é negativa: as vantagens que a China constituiu até aqui são largamente dependentes de volumes de produção elevados e custos baixos, enquanto a indústria 4.0 promete custos relativamente baixos para produtos customizados. Promete, também, eliminar as eventuais vantagens que o custo de trabalho

reduzido possa oferecer em alguns processos industriais – mesmo que essa vantagem seja muito questionável e tenha que ser relativizada quando se tem em vista que a grande potência industrial ocidental é precisamente a Alemanha, cujos salários estão entre os mais elevados no plano internacional.

São dois os elementos decisivos para o argumento de que a China não poderá ocupar, no modelo da indústria 4.0, o lugar de destaque (crescente) que vem ocupado ao longo dos últimos 25 anos: a reintegração espacial da produção e do consumo e a importância da diversificação produtiva e dos padrões mais sofisticados (individualizados) de consumo. Ao permitir a realocação espacial entre produção e consumo, a gigantesca máquina fabril chinesa perde inevitavelmente competitividade e importância, e a existência de padrões de consumo cada vez mais individualizados e customizados fragiliza ainda mais a posição manufatureira das empresas, das indústrias e dos países baseados no *binômio escala & custo*, como é o caso da China.

Existe uma implicação desta possível trajetória da indústria 4.0 e da China para o Brasil: para onde dirigirá a China a sua crescente sobrecapacidade, uma vez que os mercados centrais para onde ela destina hoje os seus grandes volumes de produção se tornem menos acessíveis em razão da reintegração espacial produção-consumo propiciada pelo novo modelo industrial em construção na Europa e nos EUA? A resposta a essa pergunta não pode ignorar que os mercados pobres e empobrecidos das periferias do sistema global possuem padrões de consumo dependentes muito mais dos elementos ligados a preços do que dos elementos de qualidade e diferenciação. Eles são, por isso, alvos adequados para o redirecionamento que a indústria chinesa terá que fazer das suas sobrecapacidades.

A indústria 4.0 é, para o Brasil, a tempestade perfeita.

### **3.3. Recomendações para uma estratégia nacional 4.0**

Seção destinada a propor ações às empresas nacionais de desenvolvimento de tecnologias da Indústria 4.0, ao setor produtivo nacional em seus diferentes segmentos e às iniciativas governamentais, visando mitigar os riscos e maximizar as oportunidades dessa evolução no modo de produção.

*Perguntas que responde: Como devem agir as empresas nacionais para obter os melhores resultados após a revolução? Qual o papel do governo para fortalecer a indústria nacional? Quais as opções de abordagem dos diferentes setores produtivos?*

A estrutura industrial brasileira é considerada bastante diversificada. Essa proposição era certamente mais fiel à realidade ao final do longo período de expansão industrial que se



encerrou entre o final dos anos 1970 e o início dos anos 1980 do que é hoje, após os dois movimentos – simultâneos – que provocaram o seu retardo: o avanço acelerado dos processos de transformação dos sistemas industriais nacionais e global e a prolongada crise doméstica, que tem impedido a sustentação dos investimentos industriais. Em que pesem os efeitos desses dois fatores, não são eles que representam o principal obstáculo para que o Brasil possa participar de modo ativo do movimento em direção à indústria 4.0.

O Brasil possui certamente uma das mais internacionalizadas de todas as indústrias existentes no mundo. Desde os anos 1950, muito antes que os países asiáticos se tornassem receptores de fluxos relevantes de investimento direto estrangeiro, empresas de todas as origens geográficas implantaram no Brasil unidades de produção relevantes, precedidas ou não por fluxos comerciais de importação. Em muitos casos, a unidade brasileira é, ou foi durante muito tempo, a principal unidade implantada fora do país de origem da empresa. É evidente que esse fator joga a favor das possibilidades de o Brasil se tornar um locus para a indústria 4.0, uma afirmação que se revela mais realista ainda se considerarmos o fato de que algumas das principais empresas que participam em posições de liderança das articulações em prol da nova indústria possuem unidades no Brasil.

A pergunta mais relevante, portanto, não é sobre as possibilidades que o Brasil tem ou não tem de participar da indústria 4.0, mas sobre as modalidades dessa participação. É evidente que o modelo da indústria 4.0 impõe um patamar mínimo muito elevado em termos de difusão das modernas tecnologias que a compõem, e que isso representa um desafio muito importante para muitas das empresas que compõem um sistema industrial combalido por muitos anos de instabilidade crônica e subinvestimento. Entretanto, muitas das empresas que compõem esse sistema estão em condições de internalizar para as suas filiais brasileiras, mesmo que o façam com defasagens, os desenvolvimentos concebidos e implantados em seus centros principais; e o mesmo poderá ser dito das grandes empresas nacionais cujo porte as tornará clientes cobiçados por todos os principais provedores das soluções da indústria 4.0. Exceto na hipótese, ainda improvável, de uma derrocada pronunciada e acelerada do sistema industrial brasileiro, o quadro mais provável é que as empresas dos principais segmentos industriais consigam acompanhar a transição para o novo modelo industrial sem sobressaltos ameaçadores.

Mas pode resumir-se a aspiração industrial brasileira a acompanhar – com defasagem menor ou maior – o movimento global na condição de importador de tecnologias, soluções, bens e serviços associados à indústria 4.0? Uma tal solução certamente pode contribuir para a modernização de plantas, empresas e segmentos industriais variados, mas ela está longe de aproveitar o potencial associado a um conjunto de novas tecnologias transformadoras do sistema industrial.

Existem pelo menos duas perspectivas para examinarmos o potencial dessas tecnologias transformadoras: mercado e indústria. Quando se discutem as perspectivas do Brasil na indústria 4.0 com profissionais ou equipes de grandes empresas provedoras de soluções 4.0, o mais comum é que elas revelem a sua percepção de que o Brasil é um mercado com grande potencial para as suas soluções, mas é muito raro que associem o sistema industrial brasileiro ao desenvolvimento dessas soluções ou que se vejam partícipes do processo de criação de soluções no Brasil. Dito de outro modo: na indústria 4.0 o Brasil é mercado, não é indústria; é cliente, não é produtor. E assim poderá permanecer se nada for feito para potencializar as oportunidades industriais existentes no mercado brasileiro e em outros mercados ao alcance das empresas brasileiras e das unidades locais de outras empresas.

Mas qual é ou quais são as diferenças entre uma e outra solução? Que vantagens e que desvantagens possui a abordagem mercado com relação à abordagem industrial? Apesar de tantos debates – tão ricos – entre a visão das vantagens naturais (desde pelo menos Eugênio Gudín) e o industrialismo (desde Roberto Simonsen), é possível repensar a questão de uma perspectiva mais atual, relacionada à indústria 4.0. São duas as vantagens imediatas da opção pelas soluções prontas, disponíveis globalmente uma vez que elas sejam viabilizadas pelas empresas e pelos consórcios que lideram o seu desenvolvimento: tempo e custo. Se uma configuração industrial e econômica foi concebida, implantada, testada e comprovada em um determinado ambiente (Alemanha, Estados Unidos, Japão), ela poderá ser estendida a outros espaços, e reproduzida com eventuais adaptações. Tal solução terá, também, a vantagem de seus elementos componentes estarem regulados por preços internacionais, mesmo que no caso de países não centrais esses preços devam ser acrescidos dos custos adicionais típicos dessa condição.

A opção por um desenvolvimento local mais forte envolve o ganho da produção local e o da mobilização de recursos existentes e da criação de novos. É mais do que trocar importações por produção local, por mais que ela envolva ganhos consideráveis. Trata-se de desenvolver novas competências, mobilizando conhecimentos existentes e produzindo novos, articulando essa produção com empresas existentes e novas, sejam elas atraídas. É evidente que o caminho da construção pode envolver custos de desenvolvimento, mas envolve também o desenvolvimento de competências tecnológicas e industriais. A disjuntiva entre uma opção e outra pode ser resumida em duplo binômio: prazo e custo mais favoráveis, de um lado, aprendizado e novas competências, de outro lado. Os parâmetros precisos desta decisão são desconhecidos e a rigor são impossíveis de determinar. As vantagens associadas à solução externa podem desaparecer ao longo do tempo, se as curvas de aprendizado da opção pelo desenvolvimento local de soluções se mostrarem efetivas, mas esse resultado não está assegurado a priori e a experiência mostra que ele pode estar

associado a fracassos importantes (Programa Nuclear), ao lado de sucessos dignos de nota (Aeronáutica). Por outro lado, é também necessário considerar que as promessas de curvas de aprendizado muito ambiciosas e velozes podem esbarrar em dificuldades intransponíveis que as frustrem, seja por razões internas (ao setor, às suas empresas), seja por razões externas (estruturais e sistêmicas).

Um elemento importante associado à opção mais autônoma envolve o conjunto de transbordamentos (*spill-overs*) decorrentes do desenvolvimento de novas competências. A chamada reinvenção da roda é uma expressão caricatural que não descreve a riqueza envolvida no aprendizado, esteja ele associado a simples mimetismo ou exija doses de engenharia reversa. Os caminhos do aprendizado são longos e eles envolvem etapas de reprodução deficiente e de reprodução proficiente antes que possam atingir estágios de autonomia e criatividade. O reconhecimento do potencial dessa trajetória, entretanto, não deve levar à escolha automática da opção mais autônoma, pois ela envolve custos que demandam dimensionamento (tentativo) *ex ante* e acompanhamento sistemático ao longo do percurso.

É crucial que a escolha entre as duas opções seja informada. As vantagens e desvantagens de cada uma das opções – e das combinações possíveis entre elas – precisam ser consideradas por todas as partes envolvidas, incluídas aquelas que são os ganhadores diretos da opção “pacote pronto” e não têm ganhos diretos na opção do desenvolvimento de curvas de aprendizado coletivas pelo sistema industrial local. É possível sustentar que existem ganhos indiretos associados ao enriquecimento da estrutura produtiva e aos fluxos de renda e consumo decorrentes, mas dificilmente uma estratégia empresarial individual pode sobrepor esses ganhos difusos àqueles que são decorrentes de vantagens diretas e imediatas (como as decorrentes da opção “pacote pronto” testado e com riscos mínimos). Os ganhos diretos devem, em condições normais, prevalecer nas opções empresariais dos setores que não são fornecedores, mas usuários.

A persuasão desses interesses usuários pelas empresas e pelos segmentos industriais que são os beneficiários diretos da opção mais autônoma envolve o reconhecimento liminar de que as vantagens dessa opção são tudo menos automáticas; e que elas só podem ser efetivamente construídas se a estratégia a ser implantada for capaz de explicitar o enfrentamento dos custos associados, a sua diluição no sistema e a sua superação ao longo do tempo. Os exemplos das dificuldades brasileiras em tratar esta matéria de modo apropriado têm contribuído sobremaneira para criar, no empresariado, nos poderes públicos e na sociedade de uma maneira geral, anticorpos mais ou menos automáticos contra toda e qualquer proposta que possa ser considerada um custo imediato, mesmo que ela possa, sob outro olhar, ser um investimento de retorno potencialmente muito favorável. O maior

fracasso possível de uma política de desenvolvimento ou de uma política industrial é a perda de sua legitimidade perante a sociedade e, mais grave ainda, perante amplos segmentos do empresariado, mesmo quando esses segmentos são produto – consciente ou não – de políticas análogas que foram adotadas no passado. Em que pese estas dificuldades, há espaço para avanços e para a constituição de uma estratégia brasileira para a 4.0.

O Brasil possui empresas e instituições com condições de construir uma estratégia consistente e vigorosa em direção à indústria 4.0. O seu sistema de ciência dá sinais de vitalidade importantes. No âmbito da tecnologia, apesar de tantos observadores continuarem a ver apenas a metade vazia do copo, os sinais de vigor são crescentes e cada vez mais promissores, com resultados que mostram o longo caminho já percorrido e resultados cada vez mais robustos. Existem pelo menos dois grandes avanços cuja importância não é devidamente apreciada. O primeiro refere-se à demografia da inovação: mais e mais atores, privados e públicos, das mais diversas áreas, estão mobilizados pela e para a inovação. O segundo é de natureza institucional: para além das barreiras que tantos transtornos causam aos atores (empresas, instituições, indivíduos), o aprendizado tem ajudado as empresas a identificarem os caminhos mais apropriados para a viabilização de seus projetos e das suas estratégias. Nesse espaço destaca-se a iniciativa da Confederação Nacional da Indústria de promover, com o apoio financeiro do BNDES, a criação dos Institutos SENAI de Inovação, distribuídos pelo território nacional e vocacionados para competências específicas. O tecido empresarial, mesmo após tantos anos de instabilidades e crises, possui uma elevada diversidade e um grau de integração muito apreciável. Ao seu lado, atuando de forma muito complementar e integrada, a Embrapii vem também propiciando o aumento do número e da qualidade dos projetos de desenvolvimento tecnológico da indústria, em produtos e processos. Existem cadeias produtivas muito dinâmicas e mesmo nos segmentos mais rarefeitos do complexo eletrônico-informático existem competências e esforços que já produziram resultados concretos e promissores para o futuro.

A mobilização deste conjunto de elementos para a construção de uma estratégia nacional para a indústria 4.0 exige como preliminar a viabilização de uma agenda compartilhada: o Brasil quer mesmo ter um sistema industrial ou podemos nos contentar com as nossas vocações – as naturais e as remanescentes daquelas que foram construídas por ações deliberadas de empresas e programas públicos – que se traduzem em ilhas de excelência? Um sistema industrial é muito mais do que algumas áreas de excelência, mesmo que elas sejam numerosas. Um sistema industrial possui encadeamentos múltiplos ao longo de cadeias e vetores transversais que perpassam várias cadeias. Quando um destes vetores, articulado em um nó específico, gera progresso tecnológico, ele gera também a capacidade de transmitir esse efeito a outros segmentos, a outras cadeias. Avanços pontuais alimentam

avanços gerais. Fortalecem-se as cadeias e fortalecem-se os vetores transversais. O sistema industrial ganha vigor e solidez. Uma estratégia articulada para a indústria 4.0 pode ser um caminho promissor para que o Brasil reencontre o caminho do seu desenvolvimento e de uma estabilidade alicerçada no crescimento da produção e dos investimentos.

### **3.4. Políticas e ações para uma estratégia nacional 4.0**

É difícil imaginar que as estratégias empresariais construídas a partir dos interesses segmentados possam fazer uma escolha que não seja a dos interesses microeconômicos, quer dizer, da própria empresa e das suas escolhas “maximizadoras de resultados”. Essas escolhas, se referendadas pelas políticas e pelas ações coletivas, gerariam como resultado principal o surgimento de ilhas de excelência em meio a um tecido industrial ainda mais fragmentado e desarticulado. É por isso que as ações coletivas e as políticas públicas devem evitar a primazia das estratégias individuais sobre aquelas que buscam a integração do tecido industrial e ações coordenadas em direção a uma indústria mais produtiva, mais dinâmica e mais capaz de avançar de modo consistente na constituição dos vetores da manufatura avançada ou da indústria 4.0.

Nos parágrafos que se seguem este documento apresenta algumas propostas que podem alimentar a reflexão da indústria e da sociedade sobre as políticas para a indústria 4.0. Desnecessário seria dizer que essas propostas são sugestões para o debate, que devem ser integradas a outras e discutidas de modo organizado. Talvez o elemento mais importante a ser levado em consideração em qualquer política industrial, e não seria diferente na política industrial para a indústria 4.0, é a necessidade de construir consensos duráveis que permitam, justamente por sua duração, que os investimentos privados e públicos feitos madurem e sejam colhidos de modo tempestivo, sem sofrerem interrupções destrutivas.

Ações de ampliação da produtividade e da competitividade em setores e segmentos empresariais onde subsistem baixos índices de difusão das tecnologias e métodos típicos da terceira revolução industrial

O primeiro conjunto de ações para a passagem do Brasil ao estágio que permita almejar a constituição de um sistema industrial apto para a indústria 4.0 é a recuperação do atraso notável que o país possui em termos das tecnologias típicas da terceira revolução industrial, sejam elas tecnologias de base física (como a difusão de automação microeletrônica ou a demografia robótica) ou relacionadas com os processos de trabalho (por exemplo, os sistemas enxutos ou a produção puxada pela demanda). É imperioso

oferecer à indústria as condições para que a grande massa de empresas cujos patamares de desempenho estão ainda muito distantes das realidades da terceira revolução possam ingressar nesse estágio e se prepararem para os desafios que se aproximam com a quarta revolução industrial.

Com essa ideia presente, as sugestões avançadas aqui são:

1. A vinculação dos programas de financiamento público para a compra de máquinas (Finame) ou o acesso aos programas de crédito de capital de giro (como o Cartão BNDES) à contratação de serviços de consultoria em programas de alto impacto em melhoria de qualidade e produtividade baseados na difusão de práticas de manufatura enxuta e congêneres. Os Institutos Senai de Inovação, as Escolas Técnicas do Senai, os Institutos de Pesquisa Tecnológica das unidades da federação deveriam tornar-se as agências promotoras em larga escala desse processo de difusão, aproveitando-se de experiências conhecidas (e bem sucedidas) como o Indústria Mais Produtiva, com uma difusão multiplicada por pelo menos 100 vezes. Os saltos de produtividade e de difusão das tecnologias (físicas e dos processos de trabalho) asseguram, pelos seus retornos, um ressarcimento rápido dos investimentos realizados, seja por meio de recursos privados (lucros) ou públicos (ampliação da base tributária e redução das taxas de inadimplência bancária e fiscal).

2. Uma ação análoga, mais direcionada, deveria ser realizada em todos os clusters setoriais (ou APLs – Arranjos Produtivos Locais, como são chamados no Brasil) relevantes. Eles são típicos de setores pulverizados (calçados – Franca, Vale do Rio dos Sinos, Nova Serrana, Birigui; móveis – Bento Gonçalves, Votuporanga, Mirassol, Arapongas, Linhares, entre outros) e podem beneficiar-se de ações de políticas e programas que encontram localmente mecanismos naturais de difusão. As atividades de formação e capacitação das unidades locais do Senai ou escolas técnicas locais podem constituir também mecanismos de difusão promotores dessas aglomerações industriais a novos patamares de produtividade e eficiência, preparando-as para modelos mais avançados de organização da produção por meio de tecnologias de base microeletrônica e outras formas de automação.

Uma vantagem importante desta ação é que ela permitiria pilotos de aprendizado e melhoria para reprodução em escala ampliada em outras aglomerações de mesma base industrial, com isso tornando os programas crescentemente eficazes.

Os recursos para as ações desta natureza existem, estejam eles no próprio “Sistema Indústria” ou em fontes habituais como o BNDES e a Finame. Um eventual apoio direto das instâncias federais aos programas estaduais de apoio (por exemplo, por meio de recursos orçamentários para os programas estaduais) deveria estar condicionado à concessão de

incentivos estaduais (por exemplo, o diferimento do recolhimento do ICMS condicionado à adesão aos programas), assegurando elevadas taxas de adesão aos programas. A crítica que esta ação poderá receber, relacionada com as pressões fiscais existentes em todas os Estados, não procede: o programa é muito barato, segundo as evidências da CNI, e possui um retorno rápido, assegurando com isso que a base de arrecadação seja ampliada de forma significativa.

3. A demanda da base industrial por tecnologias e métodos de produção mais avançados (típicos da terceira revolução industrial, mas ainda estranhos à grande maioria das empresas industriais brasileiras em grande número de setores) deveria ser completada por estímulos ao desenvolvimento de soluções tecnológicas baseadas em artefatos e tecnologias de base microeletrônica. Embora em alguns setores industriais as taxas de difusão dessas tecnologias seja relativamente elevada (robôs na indústria automobilística, por exemplo), existe no Brasil uma escassez de soluções adaptadas à realidade da maioria dos setores – sobretudo dos setores mais pulverizados.

Os programas federais e estaduais de desenvolvimento tecnológico possuem os recursos de financiamento necessários para a criação e a ampliação das competências empresariais nessas áreas. Programas como o Pappes – Subvenção, da Finep, seus congêneres estaduais (incluindo com destaque o Pipe da Fapesp), as linhas de financiamento à inovação do BNDES possuem o arcabouço adequado para a formulação e a execução de programas bem adaptados às necessidades. Um ponto de atenção a ser observado, neste caso, é a tendência de cada uma dessas instituições a priorizar a minimização de riscos, algo que deve ser evitado em prol de taxas de abrangência mais elevadas.

4. Um possível desdobramento destas ações elencadas poderia ser a constituição de protótipos de unidades de produção com elevados índices de automação a partir dos Institutos Senai de Inovação, com financiamento compartilhado entre o próprio Instituto, as empresas interessadas (por exemplo, um consórcio de empresas do setor beneficiário da solução em desenvolvimento), o Governo Federal (com recursos orçamentários alocados à Embrapii) e o governo do Estado onde a solução seria desenvolvida e implementada.

São exemplos de setores (pulverizados) em que esta solução seria mais facilmente aplicável: madeira, mobiliário, vestuário, calçados, metalurgia, cerâmica, plásticos. Em todos eles a demografia empresarial monta a milhares de empresas (ou mesmo dezena de milhares).

Uma vantagem indireta desta promoção do tecido industrial dos segmentos pulverizados a um novo patamar de eficiência e produtividade é a redução das



oportunidades de ganho competitivo por métodos que deveriam já ter sido completamente abolidos e no entanto permanecem vigentes. Ao permitir que mais e mais empresas conquistem ganhos de rentabilidade pela via da produtividade e da eficiência técnica e econômica, o programa propicia a possibilidade de sobrevivência por vias espúrias, com ganhos de arrecadação associados.

#### Ações de criação de recursos humanos, tecnológicos e empresariais para a indústria 4.0

Ao mesmo tempo em que o programa ataca as deficiências herdadas da adesão muito parcial da indústria brasileira à terceira revolução industrial, deve lançar-se à criação de condições para a formação dos recursos indispensáveis à indústria 4.0.

As ações nessa direção envolvem recursos humanos, competências tecnológicas e estruturas empresariais. Cada um desses elementos merece um tratamento dedicado.

5. *Recursos humanos.* É no mínimo curioso que praticamente inexistam nas principais escolas de engenharia do Brasil e também nas escolas técnicas cursos dedicados à formação de profissionais voltados para os grandes valores da indústria 4.0. É imperioso superar essa lacuna básica para qualquer possibilidade de participação mais ativa do Brasil na indústria 4.0.

A experiência histórica mostra o quão importante é essa dimensão, ilustrada por dois exemplos bem conhecidos. Foi a formação de uma Escola Técnica de Eletrônica em Santa Rita do Sapucaí, ainda nos anos 1950, que propiciou a criação de duas centenas de empresas de artefatos e equipamentos eletrônicos que desenvolvem regularmente novos produtos em bases competitivas. Foi também a formação do Instituto Tecnológico da Aeronáutica, nos anos 1950, a base para o surgimento anos depois da empresa que viria a ser a mais importante presença internacional de tecnologia brasileira.

A formação de cursos técnicos, de graduação e de pós-graduação nas áreas que representam os alicerces da indústria 4.0 deveria ser uma construção articulada entre os entes federais e as unidades da federação, evitando o vício, tão comum no Brasil do “eu também”: se o Estado X fez, o Estado Y também fará, se a Universidade W fez, a Z também fará. Um contra-exemplo muito saudável está representado pelos Institutos Senai de Inovação, que evitaram multiplicações e redundâncias com a criação de polos de competência e excelência. No mesmo caminho, a ideia norteadora deveria ser a reunir em alguns dos principais centros de formação de recursos humanos brasileiros as competências fundamentais que formam a base da indústria 4.0. Cada uma dos principais alicerces tecnológicos da indústria 4.0 desenvolver-se-ia a partir de um centro que disponha de



algumas das competências básicas e um projeto de reunir as demais e avançar consistentemente em direção à fronteira do conhecimento em termos científicos, tecnológicos, didático-pedagógicos e de alianças industriais abrangentes, com os principais vetores industriais interessados. A partir desse “vetor avançado” duas ações seriam desdobradas posteriormente: uma de integração, entre as diversas competências, outra de difusão, para outras unidades da federação e outras instituições.

6. O papel que o BNDES e o Funtec cumpriram nos anos 1960 e 1970 em termos de apoio aos programas de pós-graduação no Brasil poderia ser retomado com apoio a programas avançados de formação de competências científicas avançadas para a indústria 4.0. A justificativa para esse apoio é cristalina: a carteira do BNDES, em renda fixa ou variável, possui riscos apreciáveis caso a indústria brasileira seja incapaz de acompanhar com a velocidade e a abrangência necessárias a transição dos principais sistemas industriais para a indústria 4.0. Assim sendo, é do interesse direto do BNDES participar ativamente desse esforço nacional. O que vale para o BNDES vale, embora com menor intensidade, para a Finep, mas a despeito disso também ela poderia ser envolvida no esforço nacional em prol da formação de competências para a indústria 4.0.

7. *Atração de recursos humanos altamente capacitados.* Uma das razões que explica o extraordinário sucesso da Embraer é o legado tecnológico que ela agregou às suas novas formulações empresariais do período após privatização. O legado tecnológico foi produzido por recursos humanos altamente capacitados e motivados, uma experiência brasileira possivelmente singular. Quando o Instituto Tecnológico da Aeronáutica foi formado, ele teve uma liderança sábia que atraiu cérebros experientes do mundo todo, conseguindo com isso abreviar de modo notável o período de aprendizado.

Essa experiência brasileira tão bem sucedida poderia ser emulada pelo programa de indústria 4.0. A importação de cérebros, sejam eles jovens talentos ou experientes, deveria ser reforçada por um programa de apoio à vinda de empreendedores de base tecnológica com apoio de programas públicos.

8. *Competências tecnológicas.* A formação de recursos humanos deve estar articulada à formação de bases tecnológicas adequadas à construção e à difusão de soluções. O BNDES e a Finep, para não falar das demais instituições públicas de fomento, têm sido mais do que tímidas, para não dizer refratárias, aos riscos tecnológicos nos setores vitais para a indústria e a economia do futuro. A criação de programas como o Criatec pode ser considerada apenas um protótipo – aliás, pouco funcional – daquilo que o Brasil efetivamente precisa: uma sementeira numerosa, de iniciativas múltiplas, capazes de preencher com redundâncias o leque de oportunidades tecnológicas, filtradas seletivamente em processos competitivos promovidos por soluções diversas e por suas respectivas

capacidades de construir modelos de negócios e alianças empresariais viáveis. A substituição (ou o complemento, não está claro ainda) do Criatec pelos instrumentos baseados em “venture debt”, anunciados recentemente, não resolve nenhuma das insuficiências e das deficiências do Criatec, mais provavelmente agravando todas elas. A crítica que se aplica aos recursos públicos não vale para os investidores privados, pois não é deles o papel de subsidiar a “sementeira” de oportunidades tecnológicas; e se esses fundos privados são seletivos demais, o único que se pode dizer é que seria ingênuo esperar diferentemente, dadas as condições financeiras vigentes no país e a existências de remunerações elevadas e seguras na liquidez financeira.

Deve ser um propósito das instituições de apoio ao desenvolvimento brasileiro a criação – em bases permanentes – de um novo tecido de empresas com elevado crescimento, baseado em novas soluções (tecnologia, inovação, modelo de negócio), para promover novo dinamismo nos mercados e criar novas fontes de competitividade e promover exportações. Com mais forte razão deveriam essas instituições cuidar da criação de um tecido de empresas voltado para a promoção de soluções tecnológicas da indústria 4.0. O BNDES e a Finep, em articulação com as instituições estaduais análogas (por exemplo, as FAPs) e com as unidades do Sistema S, deveriam tomar para si a responsabilidade de promoverem a criação anualmente de centenas de empresas de base tecnológica para a indústria 4.0.

Um instrumento factível para essa trajetória é um instrumento de apoio que poderia resumidamente ser denominado um bônus de subscrição de duas etapas: numa primeira etapa o banco subscreve um aporte de até R\$ 500 mil para um projeto de 12 a 24 meses destinado ao desenvolvimento de alguma solução, idealmente com risco elevado, associado a planos de negócio ousados. Havendo sucesso nessa primeira etapa, o aporte para a segunda etapa seria de até R\$ 2 milhões, para planos de 24 a 36 meses necessariamente vinculados a planos de comercialização de escala global. Não se espera que a empresa seja capaz, na primeira etapa, de atrair investidores privados, mas é desejável que eles já possam estar presentes na segunda etapa.

Uma vez que o objetivo é a criação de um novo tecido de soluções tecnológicas e bases empresariais para a indústria 4.0, é possível que as taxas de sucesso em termos do quociente das empresas sobreviventes com relação às empresas apoiadas seja reduzido – e isso faz parte do programa e deve ser aceito como normal. Não se trata de apostar em qualquer projeto, mas de apoiar todo e qualquer projeto que possa, com alguma abordagem inovadora e fundamentada em termos tecnológicos e industriais, propor soluções típicas da indústria 4.0 e dos seus alicerces. É possível pensar em um piloto com um número de

empresas entre meia centena e uma centena, multiplicado, após 30 ou 36 meses, por um fator de 5.

O retorno que o banco deve esperar não é, como se costuma propalar, “os sucessos pagam os fracassos”, mas é sim o rejuvenescimento do tecido industrial e a constituição de uma oportunidade efetiva para que a indústria brasileira consiga deixar a posição subalterna e decadente a que vem sendo relegada e seja promovida a novas bases competitivas.

9. *Aquisição de empresas.* A constituição de um tecido de empresas detentoras de tecnologias estruturantes da indústria 4.0 pode beneficiar-se do apoio de empresas nascidas em outros ambientes e portadoras de soluções ou de elementos constituintes de soluções apropriadas. Em vários sentidos, a indústria 4.0 é um mosaico e ele pode ser composto com elementos locais e elementos vindos de outros ecossistemas de inovação mas detentores de tecnologias capazes de interagir e enriquecer o sistema local.

Um instrumento apropriado para enfrentar esse desafio é o apoio financeiro à aquisição de ativos tecnológicos no exterior. Essa compra, que hoje é penalizada, deveria ser incentivada, desde que ela passe a integrar uma solução de natureza local e com potencial de projeção internacional (uma vez integrada).

#### Ação para estimular a demanda por soluções para a indústria 4.0

A ação mais delicada em termos de formulação e execução de política envolve as grandes empresas, sobretudo as líderes em segmentos industriais e de mercado, sobretudo quando possuem elos ou posicionamentos globais relevantes. Nesses casos, eles tendem, com razão, a pensar em em suas soluções corporativas de forma individual, sendo secundárias as considerações relacionadas ao sistema industrial brasileiro. Esta ação é destinada a endereçar esse problema.

10. *Bases empresariais.* A presença de novas soluções tecnológicas associadas a novas empresas no tecido empresarial brasileiro é importante, mas o envolvimento das grandes empresas e de suas cadeias produtivas é vital para o sucesso da iniciativa brasileira da 4.0. Essas empresas são líderes na indústria brasileira e possuem, em alguns poucos casos, liderança global. As suas estratégias empresariais devem orientá-las em direção a constituírem seus próprios caminhos para o modelo 4.0. Invariavelmente, quase sem exceção, os seus modelos próprios serão baseados em soluções globais aplicadas localmente, com adaptações menores ou maiores, mas com reduzida participação local em termos de concepção e fabricação de elementos componentes. A constituição de uma lógica mais sistêmica, capaz de aproveitar o mercado local da indústria 4.0 para a formação e a

consolidação de uma base industrial fabricante de soluções 4.0 tem que contar com estímulos públicos capazes de reorientar as estratégias empresariais privadas para os caminhos que são, em curto prazo, mais custosos, mesmo que prometam retornos de médio e longo prazo mais vantajosos.

Os riscos elevados que uma empresa privada corre por reorientar a sua estratégia privada mais consistente para uma outra em que se buscam benefícios sistêmicos (para o conjunto da indústria e do sistema econômico) tem que ser compensada por instrumentos e recursos públicos. Por que a empresa líder de uma indústria e de um mercado deveria renunciar á sua capacidade de constituir – por compra simples ou desenvolvimento encomendado – uma solução própria e baseada nos melhores componentes globais em prol de uma solução local baseada em um mix de ofertantes locais e globais, mas com arquiteturas e modelos ainda não demonstrados? É difícil imaginar uma reunião de diretoria de qualquer empresa aprovando a segunda opção em detrimento da primeira.

Os recursos públicos de um programa brasileiro em prol da indústria 4.0 deveriam servir precisamente para cobrir o risco associado à segunda opção, vantajosa para o sistema industrial, em detrimento da primeira, vantajosa para a empresa (mas ruinosa para a constituição de um sistema industrial 4.0). As linhas gerais desse programa são apresentadas a seguir, sem se pretender aqui nada mais do que um esboço.

Os entes federais pertinentes (incluindo os principais ministérios e os seus organismos de execução de políticas) lançam um edital de chamamento de propostas setoriais para a formação de consórcios industriais e tecnológicos de indústria 4.0. Cada uma dos consórcios recebe um aporte (não reembolsável) de até R\$ 5 milhões para o detalhamento de uma proposta técnica de desenvolvimento de uma solução setorial para a indústria 4.0, sendo apoiáveis todas as propostas que reúnam ao menos 5 empresas com faturamentos superiores a um patamar mínimo (elevado) ou ao menos 100 empresas de qualquer tamanho. Os dois modelos destinam-se a promover soluções para setores concentrados e para setores pulverizados. As cinco propostas mais ousadas e mais consistentes serão apoiadas com recursos não reembolsáveis de R\$ 100 milhões. Não deveriam ser premiadas propostas de um mesmo setor industrial. Todas as propostas teriam como contrapartida o apoio a empresas de base tecnológica portadoras de soluções promissoras e o compartilhamento não oneroso da propriedade intelectual das soluções geradas para outras indústrias não concorrentes.

O conjunto de proposições aqui avançadas está longe de ser exaustiva ou sequer de cobrir o terreno de forma ampla. Ele foi orientado pela interpretação que o documento realizou sobre a situação brasileira e o legado – deficiente – da terceira revolução industrial e dos últimos 40 anos de letargia industrial em meio a sucessivas crises e ciclos de

instabilidade. Por isso, as primeiras ações propostas não se referem diretamente à indústria 4.0 mas à criação das condições para que a indústria de diversos segmentos e estratos de empresas possa se preparar para esse segundo esforço que será o padrão industrial emergente, em definição nos países líderes. Foram também propostas ações envolvendo recursos humanos, competências tecnológicas e a transformação do tecido industrial, seja o de pequenas empresas, seja o de empresas de base tecnológica, seja ainda o das grandes empresas e das cadeias industriais em que o Brasil possui posição de protagonismo global. Embora cada ação proposta tenha sido derivada da análise desenvolvida no documento, ela pode ser analisada e discutida em separado. Esperamos, com isso, estimular o debate saudável sobre a indústria e o desenvolvimento brasileiro.

## 4. Bibliografia

ACATECH, Forschungs Union (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. *Final report of the Industrie 4.0 Working Group*.

Almada-Lobo, F. (2015). The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management, Volume 3, Issue 4*.

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks, 54(15), 2787-2805*.

Baur, C., Wee, D. (2015). Manufacturing next act. *McKinsey & Company Report, Munich, 2015*.

Heng, S. (2014). Industry 4.0 Upgrading of Germany's industrial capabilities on the horizon. *Deutsche Bank Research, Frankfurt am Main, Germany*.

Hermann, M., Pentek, T., Otto, B. (2015). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review, *Business Engineering Institute St. Gallen, Lukasstr. 4, CH-9008 St. Gallen*

IEC - International Electrotechnical Commission (2015). White Paper: The Factory of the Future. *Geneva, Switzerland*. [Acessível em: <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-futurefactory-LR-en.pdf>]

Koch, V., Kuge, S., Geissbauer, R., Schrauf, S. (2014). Industry 4.0: Opportunities and challenges of the industrial internet. *PwC Strategy& Report*.

Kohler, D., Weisz, J. (2015) Industrie 4.0 : quelles stratégies numériques? La numérisation de l'industrie dans les entreprises du Mittelstand allemand. *Publication BPI France - Industrie 4.0 rédigée par KOHLER C&C*.

MacDougall, W. (2014). INDUSTRIE 4.0: Smart Manufacturing for the Future. *Germany Trade and Invest Gesellschaft für Außenwirtschaft und Standortmarketing mbH Friedrichstraße, 60 10117, Berlin, Germany*

Moavenzadeh, J., Bernard, M., Giffi, C., Powers, D. (2013). Manufacturing for Growth: Strategies for Driving Growth and Employment. *Volume 3: Manufacturing Value Chains Driving Growth, A World Economic Forum Report, Geneva, Switzerland*.

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. *The Boston Consulting Group, Inc*.