

O BRASIL E A NOVA ONDA DE MANUFATURA AVANÇADA

O que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos¹

<http://dx.doi.org/10.25091/S0101-3300201700030003>

GLAUCO ARBIX*

MARIO SERGIO SALERNO**

EDUARDO ZANCUL***

GUILHERME AMARAL****

LEONARDO MELO LINS*****

RESUMO

A expansão acelerada de tecnologias disruptivas nos países avançados questiona os modelos de produção e serviços construídos pela indústria do século XX, gera mudanças no comportamento nos mercados consumidores e aponta para mudanças econômicas e sociais profundas. A digitalização, conectividade e automação acelerada desarticulam indústrias e alteram os padrões de competitividade. Para o Brasil, a diferença entre ser competitivo e permanecer no atraso depende da capacidade de aproveitar as oportunidades abertas pelo ciclo atual.

PALAVRAS-CHAVE: *manufatura avançada; indústria 4.0; inovação tecnológica.*

Advanced Manufacturing: What Is to Be Learnt from Germany, the U. S., and China

ABSTRACT

The relentless blossoming of technologies in a select group of advanced countries is changing production and services models designed in the past century. Some breakthrough advances have the potential to disrupt entire industries, services, and alter the way people work, consume and live. Digitization, extreme connectivity and automation are remaking competitive standards, impacting advanced and emerging economies and societies. Countries like Brazil are challenged to seize the opportunities offered by this new cycle.

KEYWORDS: *advanced manufacturing; industry 4.0; technological innovation.*

[*] Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: garbix@usp.br.

[**] Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: msalerno@usp.br.

O declínio da indústria tem sido alvo de intenso debate em todo o mundo. É certo que desponta com maior gravidade entre os emergentes, mas se manifesta também entre países desenvolvidos. Diante das alterações de qualidade que marcam a competição global, perdem força as explicações duais que apontam o declínio industrial como resultante do crescimento dos serviços. As fronteiras entre esses

domínios tornam-se a cada dia mais nebulosas, dada a intensidade de sua integração. Nessas condições, ganham novas características as polêmicas sobre os processos de desindustrialização, as dificuldades do desenvolvimento das economias,² a perda de importância da indústria de transformação e, conseqüentemente, o crescimento dos obstáculos à geração de empregos de qualidade.³ Porém, ainda que tenha diminuído sua participação na formação do PIB, a indústria continua sendo essencial para o dinamismo dos sistemas de inovação e o desenvolvimento tecnológico.⁴

Até o início deste século, quando as tecnologias digitais ainda não haviam exibido totalmente seu potencial, as economias avançadas, que sofriam com a diminuição do peso relativo da indústria, responsabilizavam as decisões de *outsourcing* e a migração de empresas para países em desenvolvimento, em especial para a China, como os grandes responsáveis pela corrosão de sua capacidade de manufatura. Vantagens salariais, fiscais e de custos de implantação estavam na raiz das explicações para a degradação de parte significativa de seu tecido industrial, em especial, pensava-se, da parcela intensiva em trabalho de menor remuneração.⁵

Pesquisas recentes, no entanto, mostram que desde o início deste século a revoada da produção para países em desenvolvimento não se restringiu somente às unidades que respondiam por bens de baixo valor agregado, mas envolveu também setores sofisticados, cuja ausência afetou a capacidade industrial de países como Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido e França, ao mesmo tempo em que abriu novas perspectivas para países como a Coreia do Sul e Taiwan e emergentes do porte da China e Índia. A perda de capacidade industrial para a produção de bens de maior complexidade, como o “conhecimento, pessoal qualificado e infraestrutura de suprimentos”, tornou-se flagrante com a mudança de domicílio industrial da produção de *smartphones*, computadores, *displays* de alta resolução, materiais avançados, semicondutores, diodos e sensores, para citar apenas alguns, que passaram a ser produzidos, planejados e mesmo concebidos em países asiáticos.⁶ O novo mapa-múndi da indústria resultante desse processo revelou vazios na manufatura de países desenvolvidos, ao mesmo tempo em que mostrou o surgimento de novas cadeias produtivas e de um tecido industrial relativamente avançado nos países que souberam aproveitar as oportunidades abertas, como a China. Em outras palavras, a perda de capacidade industrial das economias maduras estaria vinculada não somente à transferência de empresas para países emergentes, mas também ao trânsito de engenharia e de outras competências produtivas no interior dos próprios setores econômicos,⁷ uma vez que indústria e serviços agora imersos em um novo substrato digital tendiam a operar de modo cada vez mais integrado e apoiados por processos avançados de

[***] Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: ezancul@usp.br.

[****] Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: guisgamara@gmail.com.

[*****] Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: leonardomelolins@gmail.com.

[1] Artigo baseado no estudo “Políticas de inovação e manufatura avançada”, financiado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e executado por pesquisadores do Cebrap, com supervisão técnica do Observatório da Inovação e Competitividade do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo (2016–2017).

[2] Rodrik, 2016.

[3] Grabowski, 2017.

[4] Pisano; Shih, 2012, cap. 5; Pisano, 2015.

[5] Pisano, 2015.

[6] Pisano; Shih, 2009, p. 3.

[7] Grabowski, 2017.

[8] Brynjolfsson; McAfee, 2012; Guajardo; Molano; Sica, 2016; Acemoglu; Restrepo, 2016.

[9] A partir de um pacto entre empresas, universidades, associações empresariais, centros de pesquisa e governo, foi lançada em 2013 a plataforma *Industrie 4.0*. Com a nova estratégia industrial, a Alemanha quer garantir sua liderança na produção industrial de alta qualidade e em suas exportações. Para isso, busca manter sua posição de destaque como fornecedora global de tecnologias para os novos conceitos de fabricação que estão surgindo.

[10] O governo Barack Obama lançou, em 2011, a *Advanced Manufacturing Partnership*, estruturada como um esforço para unir o governo federal, a indústria e as universidades em um esforço de desenvolvimento de tecnologias que ajudem a projetar os Estados Unidos como polo industrial do futuro. A Rede Nacional de Institutos para Inovação na Manufatura, um desdobramento dessa iniciativa, voltou-se para a implantação de centros de excelência, operados e financiados conjuntamente pelo setor público e privado, com foco no desenvolvimento de pesquisas e tecnologias que respondam a desafios da economia digital.

[11] De forma sintética, os termos “*Industrie 4.0*” e “*Advanced Manufacturing*” são utilizados informalmente como sinônimos. Não são. Ambos remetem aos esforços para acelerar os processos de digitalização. No conceito alemão, o foco recai sobre a integração da produção fabril. Na visão americana, a abordagem é mais ampla, considerando, entre outros aspectos, a busca por maior integração universidade–empresa para o desenvolvimento de tecnologias emergentes em áreas como materiais avançados. Foge ao escopo deste trabalho um mergulho nos diferentes conceitos. Para os interessados, ver Howaldt, Kopp e Schultze (2017, pp. 45–60).

[12] Gereffi, 2014.

[13] Gereffi; Lee, 2012; Lema; Quadros; Schmitz, 2015.

[14] Christensen; Eyring, 2012; Crow; Dabars, 2015.

[15] Brynjolfsson; McAfee, 2012; Acemoglu; Restrepo, 2016.

[16] Pisano, 2015.

automação. Essas mudanças estavam longe de serem cosméticas. Pelo contrário, evidenciavam uma transformação de qualidade nos alicerces que até então haviam sustentado o mundo industrial e se manifestaram em todos os seus aspectos positivos e negativos, a começar pela agilidade digital e a facilidade com que reduziam empregos.⁸

A *Industrie 4.0*,⁹ segundo a vertente alemã, e a *Advanced Manufacturing*, como é chamada nos Estados Unidos,¹⁰ pretendem ser a expressão desse novo capítulo na trajetória das transformações industriais e prenunciam novas sínteses entre homens, máquinas e a inteligência de softwares e algoritmos.¹¹

Ao acompanhar concretamente a evolução dessas tendências, percebe-se que:

1. Esses novos processos estão baseados no aprofundamento da interdependência produtiva na indústria mundial, com maior diversificação da origem do valor adicionado ao fluxo geral de mercadorias e serviços.¹²
2. Ao participar das cadeias globais de valor, a indústria dinamiza e é dinamizada pelos sistemas de inovação, tanto por facilitar o fluxo de conhecimento e estimular a elevação de padrões de qualidade quanto por permitir o aprendizado.¹³
3. A globalização da produção e dos serviços pressiona pela alteração dos padrões de competição das economias nacionais e questiona estratégias institucionais, empurrando-as para ampliarem suas sinergias com outros agentes sociais, em busca da diversidade de conhecimento e da cooperação orientada para resultados. A internacionalização das universidades, por exemplo, deixou de ser apenas uma oportunidade e passou a ser uma necessidade para sua permanência e crescimento como centros de excelência e relevância social.¹⁴
4. Diferentemente do que ocorreu em outros ciclos tecnológicos, os sinais emitidos sugerem que a nova manufatura é fortemente poupadora de empregos, ainda que os estudos não sejam taxativamente conclusivos, dado que as novas tecnologias estão ainda em formação.¹⁵
5. Embora apresente capacidade de geração de empregos declinante, a indústria ainda ocupa lugar especial na manutenção da capacidade de adaptação das economias e no metabolismo dos sistemas de inovação.¹⁶

Pela importância da indústria nos processos que oxigenam o conjunto da economia, os países mais desenvolvidos foram levados a aumentar o peso específico dos processos de inovação, tanto para o enfrentamento da crise quanto para manutenção do bem-estar social. De fato, passaram a atuar orientados pelo reconhecimento do peso da inovação tecnológica na elevação da produtividade.

Em países como o Brasil, que estão distantes das fronteiras do conhecimento e carentes de tecnologia, é fundamental a manutenção de um fluxo constante de investimento em P&D como forma de contrabalançar a menor participação do investimento privado. Esse é um desafio que se torna ainda mais agudo nos momentos de crise, de dificuldades fiscais e de contração da economia. No entanto, a preservação do nível do investimento público e privado em tecnologia e inovação é fundamental para que esses países não se intoxiquem ainda mais com a estagnação.¹⁷

[17] OECD, 2015.

O PRENÚNCIO DE UM NOVO CICLO

Os sistemas da indústria manufatureira vivem rápido trânsito nos países avançados. Seu destino ainda é incerto, mas suas novas ferramentas e características já contribuíram para reordenar segmentos inteiros da economia, promovendo o reposicionamento das empresas que mais investem em inovação e são mais intensivas em conhecimento. O novo ciclo industrial que está nascendo tem por base sistemas digitais complexos que, ao se integrarem em rede e automatizarem processos, aproximam objetos físicos e virtuais e dão forma a uma produção industrial ainda mais flexível e customizada. Por suas características, as mudanças incidem fortemente sobre os mecanismos industriais, mas também sobre os serviços e agropecuária, com desdobramentos para o conjunto da economia, sem respeitar qualquer linearidade.

O estágio embrionário do novo ciclo permite que tecnologias maduras, assentadas na era industrial, coexistam ao lado de algumas nascentes, de outras esboçadas ou apenas projetadas. Essa mescla primordial evidencia ainda uma ausência de rotas tecnológicas claramente definidas, com sínteses e fusões e ainda em germinação.¹⁸ Essas indefinições, como era de se esperar, ampliam o grau de incerteza nas economias e sociedades e facilitam o desconcerto de governantes, planejadores e mesmo de empresários, que optam pela inação diante de um movimento que, friamente, já emitiu sinais claros de que atingiu um ponto de não retorno.

[18] Arthur, 2009.

Exatamente por isso, o esforço para compreender, explicitar, facilitar e preparar a entrada das economias mais atrasadas nesse universo ainda em formação, de modo a diminuir riscos e melhor aproveitar as oportunidades, é tarefa primeira das políticas públicas de inovação.

A pesquisa que deu base a este artigo selecionou dois direcionadores para a elaboração de políticas contemporâneas de inovação: 1. como adotar, adaptar, absorver e gerar novas tecnologias de modo a elevar a produtividade da economia; 2. quais dinâmicas desenvolver

para alterar a atual estrutura produtiva e ampliar as conexões com as cadeias globais de valor. Na base dessa orientação encontra-se a preocupação constante com a geração de empregos de qualidade e a formação de recursos humanos.

A exposição dos argumentos voltou-se para: 1. sintetizar as principais características das mudanças correntes e os desafios para a competitividade dos países; 2. identificar e analisar os processos e mecanismos de elaboração de políticas voltadas para a reestruturação da economia nos Estados Unidos e Alemanha, berço das principais inovações tecnológicas contemporâneas, assim como na China, que se prepara para disputar a liderança da economia mundial nas próximas décadas; e 3. subsidiar a elaboração de políticas públicas que ajudem o Brasil a superar o baixo desempenho de sua economia em sintonia com os avanços tecnológicos em curso.

No Brasil, o debate sobre a indústria do futuro, além de se voltar para a elevação da produtividade da indústria, procura identificar oportunidades para a transformação estrutural da nossa economia, atingida conjuntamente pela crise econômica, mas duplamente exposta pelos avanços que começam a se tornar realidade em outros países, seja pela baixa capacidade de inovar tecnologicamente, seja por sua dependência das *commodities*. É urgente concentrar energias em um programa robusto orientado para apoiar a reestruturação e capacitação da indústria brasileira.

Este artigo tem por objetivo, de um lado, apresentar como os Estados Unidos, Alemanha e China moldam suas estratégias e definem instrumentos para impulsionar a manufatura avançada e, de outro, contribuir para a elaboração de diretrizes de políticas públicas voltadas para a reestruturação e remodelagem da indústria e serviços brasileiros de modo a aproveitar as oportunidades abertas pelo novo ciclo tecnológico.

A MANUFATURA AVANÇADA

As inovações tecnológicas que modelam a indústria avançada atualmente têm na sua base novos processos *digitais*, altamente *integrados* e intensivos em *automação*. Em torno desse tripé, diferentes tecnologias com origens e funções diversas interagem e se agregam em blocos que podem ser classificados de acordo com suas relações funcionais da seguinte maneira: tecnologias de engenharia de desenvolvimento de produto (design); tecnologias de processo, empregadas na produção propriamente dita; e tecnologias de gestão, que permitem acelerar a comunicação dentro das organizações e ao longo das cadeias de valor.

FIGURA 1
Motores essenciais da indústria do futuro: digitalização, integração e automação

Informação	Integração	Automação
<ul style="list-style-type: none"> • Coleta de dados em tempo real – sensores e LOT • Dados de ambiente, mercado, usuários, máquinas, sistema produtivo, logística, entre outros 	<ul style="list-style-type: none"> • Integração entre <i>softwares</i> e <i>hardware</i> (máquinas e equipamentos) • Integração de processos de negócio, empresas e cadeias de produção • Agregação de serviços • Integração entre disciplinas/áreas do conhecimento 	<ul style="list-style-type: none"> • Tomada de ação autônomas conforme informações do sistema integrado – inteligências artificial • Produção mais flexível – customização
<ul style="list-style-type: none"> • Grande volume de dados coletados – <i>big data</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Agilidade e produtividade • Agregação de valor 	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidade • Produtividade

Essa primeira aproximação, sistematizada na Figura 1, permite a construção de um quadro comparativo entre rotas e trajetórias da indústria tradicional e os novos processos em formação.

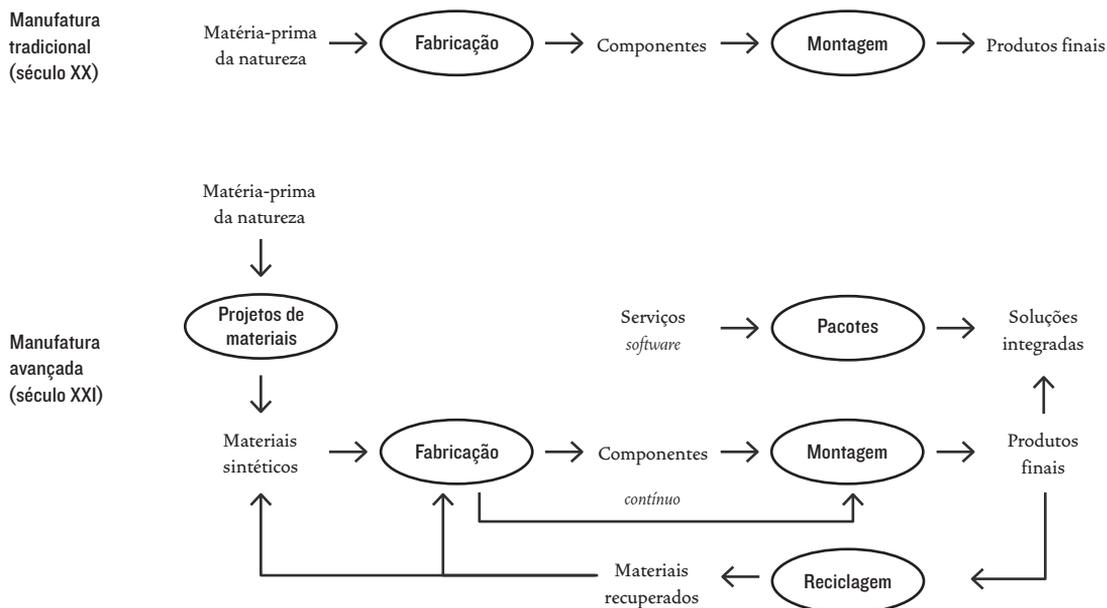
Em um sentido amplo, a manufatura herdeira do século XX consiste na fabricação e montagem de produtos via processos lineares. Na manufatura avançada, os novos materiais deixariam de ser somente insumos e passam a ser parte integrante dos processos de fabricação, pois ao serem conectados passariam a ser emissores e recipientes de dados; as fronteiras entre fabricação e montagem tendem a desaparecer graças aos processos de automação; e os processos de reaproveitamento de rejeitos industriais apontam para uma nova dimensão da reciclagem, prolongando o ciclo de vida dos produtos, em um sentido mais amplo do que as preocupações ecológicas ou ambientais. A Figura 2 procura sintetizar essas diferenças.

É importante registrar que os processos indicam uma ruptura dos paradigmas de produção que marcaram a era industrial, como apontou Dosi¹⁹ diante dos primeiros sinais dessas transformações.

A evolução das novas tecnologias foi rápida, constante e substantiva, sendo que o estudo comparativo de algumas experiências internacionais nos permite uma primeira abordagem conceitual sobre a natureza da indústria que começa a tomar forma. Nas próximas seções abordaremos três experiências internacionais relevantes com o objetivo de extrair lições para subsidiar o debate e a construção de estratégias voltadas para aproximar a indústria brasileira das práticas internacionais mais avançadas.

[19] Dosi, 2006.

FIGURA 2
Expansão e superação da manufatura do século XX



Fonte: baseado em Locke e Wellhausen (2014).

ALEMANHA: O PROGRAMA INDUSTRIE 4.0

A plataforma Industrie 4.0 ocupa lugar central na atual política tecnológica da Alemanha. Três características principais dessa plataforma chamam a atenção dos mais diferentes governos e de empresas de áreas, setores e complexos diversos. Primeiro, pelo seu enfoque temático, que busca o desenvolvimento de tecnologias de manufatura avançada potencialmente disruptivas. Segundo, pelo horizonte de tempo, que não se fixa em processos de curta duração, mas aponta fundamentalmente para o médio e longo prazo. Terceiro, a plataforma alemã também se destaca pela coesão e ampla participação de instituições da sociedade, com representantes da iniciativa privada, da academia, sindicatos de trabalhadores e outras instituições. O consenso alcançado em torno da Industrie 4.0 foi resultado de um grande esforço institucional com origem na iniciativa privada, que permitiu seu lançamento em 2011 como uma plataforma de convergência e de colaboração em defesa da competitividade da indústria alemã.

Essas três características projetaram a plataforma Industrie 4.0 como fonte de inspiração para a criação de programas análogos em outros países. Graças aos avanços registrados desde seu lançamento, a plataforma tornou-se o elemento central da atual política para a indústria alemã, e, apesar de ter sido criada como uma iniciativa doméstica, é crescente o interesse declarado de outros países em conhecer seu

funcionamento e estabelecer algum tipo de cooperação institucional, a exemplo do que já fizeram os Estados Unidos, França e China.²⁰

A inclusão do programa Industrie 4.0 na política industrial do governo alemão foi resultante de uma grande mobilização do meio empresarial que se desenvolveu entre 2011 e 2015. A plataforma foi criada e estabelecida inicialmente como um programa da iniciativa privada e somente em 2015 foi incorporada à política oficial do governo. Ou seja, nasceu como iniciativa do empresariado, com a participação de centros de pesquisa e outras instituições da sociedade civil. Graças a essa origem, seu sistema de governança transformou-se em um de seus pontos distintivos, precisamente por contemplar de modo amplo a diversidade de agentes da sociedade civil.

Após sua consolidação como política oficial de governo, a liderança do programa passou a ser exercida diretamente por dois ministros (da Educação e Pesquisa e da Economia e Energia), que compartilham sua gestão e coordenação com representantes da iniciativa privada, como membros da academia, de sindicatos e outras entidades. A participação ativa desses atores tem como resultado um alto grau de coesão e de efetividade na formulação, na adequação dos instrumentos e na execução da política industrial. A presença do governo na plataforma se dá mais como facilitador do diálogo e articulador dos atores públicos envolvidos no sistema de inovação alemão do que como gestor, uma vez que as atividades da plataforma são sempre definidas ao estilo *bottom-up*.

Como iniciativa concreta, a plataforma Industrie 4.0 incentivou a instalação e uso de ambientes de teste e de demonstração de tecnologias em sua fase pré-competitiva, chamados, em alemão, de "*Testumgebungen*". Esses *testbeds* (em língua inglesa) podem ser definidos como espaços que simulam a realidade da produção industrial. Podem ser sofisticados, e simular uma fábrica completa, ou bastante simplificados e pragmáticos, e assim implantados em bancadas de testes ou em máquinas específicas em laboratórios. Tipicamente estão instalados em universidades ou centros de pesquisa como infraestrutura compartilhada. A premissa é que as demonstrações em *testbeds* têm um papel relevante na construção de consensos sobre tecnologias e, especialmente, na formação das visões de futuro, o que contribui para a articulação e a disseminação de informações, rotas e novas técnicas. Essas fábricas demonstradoras funcionam também como recurso efetivo para a formação de operadores dos sistemas de manufatura avançada.

De outro ângulo, o financiamento das plataformas está em grande parte baseado em mecanismos já existentes e de fácil acesso assim como em recursos oriundos de fontes controladas por ministérios e outros órgãos públicos responsáveis pelo fomento à pesquisa e desenvolvimento tecnológico, como o sistema Fraunhofer.²¹

[20] Alemanha, 2015; Plattform Industrie 4.0; Alliance Industrie du Futur, 2016.

[21] Rede de institutos de pesquisa aplicada da Alemanha, que congrega cerca de setenta centros dedicados a desenvolver soluções para a saúde, tecnologias de informação e comunicação, energia, robótica e dezenas de outras áreas.

A plataforma Industrie 4.0 conseguiu em pouco tempo envolver uma ampla gama de pessoas e empresas. Em novembro de 2016, foram contabilizados 33 *testbeds* e 267 casos de experimentos em empresas. Porém, o engajamento da sociedade é ainda maior, uma vez que grande parte do fomento para a pesquisa em manufatura nas universidades alemãs está alinhado com as prioridades e necessidades de desenvolvimento da Industrie 4.0.

THE NATIONAL NETWORK OF MANUFACTURING INNOVATION

Governo, empresas, pesquisadores e *think tanks* dialogam e interagem há tempos sobre a importância de se revitalizar a indústria americana, de modo a recuperar sua capacidade de geração de empregos de qualidade e de ajudar o país a retomar a liderança perdida nas últimas décadas, condição agravada pela crise de 2007–2008.

Governos de distintas colorações políticas investiram pesadamente para reconquistar a hegemonia americana em manufatura, por meio de um generoso apoio ao desenvolvimento tecnológico que absorveu, somente em isenções fiscais, US\$ 80 bilhões em dez anos.²²

Em 2012, o governo Obama lançou o programa National Network of Manufacturing Innovation (NNMI), recentemente rebatizado de Manufacturing USA,²³ com o objetivo de criar ambientes compartilhados e orientados para a resolução de problemas, que já conseguiu aglutinar centenas de empresas privadas, instituições públicas, universidades e institutos de pesquisa. O ponto central do programa é um inovador sistema de transferência e de cogeração de tecnologias entre centros de excelência produtores de conhecimento e grandes, médias e pequenas empresas privadas. Com esse programa, o governo americano procura amenizar a perda de ideias, projetos e empresas no chamado “vale da morte”—metáfora que indica a fase de desenvolvimento de inovações em que empresas nascentes morrem por conta das incertezas que envolvem as tecnologias disruptivas—por meio da instalação de estruturas multiusuários de suporte ao amadurecimento, prototipagem, testes e demonstrações de tecnologias.

Apesar de pontos semelhantes, o programa americano possui foco temático mais amplo do que o alemão. Desde suas primeiras versões, incluiu o design, o desenvolvimento da impressão em 3D (aditiva), processos de integração digital das empresas, materiais leves, uma nova geração de semicondutores, materiais compósitos, fotônica, eletrônica híbrida, tecidos funcionais e energia limpa, dentre outras.

Concebido para combinar o financiamento público e privado, o Manufacturing USA concentrou suas atenções na criação de institutos de desenvolvimento tecnológico, com temas definidos em edital público. A construção de um instituto específico se deu a partir de um

[22] Ford; Koutsky; Spiwak, 2007.

[23] EUA, 2016.

investimento a fundo perdido do governo federal, da ordem de US\$ 70 milhões em até cinco anos, seguido de contrapartida do mesmo valor realizada por um consórcio de empresas, universidades e instituições públicas, nos diferentes níveis de governo. A contrapartida privada é explicitamente exigida nos editais e constitui fator decisivo para um consórcio sagrar-se vencedor na disputa. É importante registrar que o exemplo americano mostra que as parcerias público-privadas em CT&I, com mecanismos claros de compartilhamento financeiro, permitem alavancar mais recursos privados do que o previsto pelos editais, como demonstram as experiências do Digital Manufacturing and Design Innovation Institute (DMDII) de Chicago (cuja contrapartida privada alcançou US\$ 350 milhões) e do Instituto de Fotônica, em Nova York, que registrou investimentos empresariais de US\$ 250 milhões (contra US\$ 70 milhões do setor público).

Esses consórcios são formados, geralmente, por grandes empresas e universidades de prestígio, ou seja, por instituições que possuem capacidade de investimento. No entanto, após a constituição dos institutos, a participação é aberta às pequenas e médias empresas, assim como às universidades, via um mecanismo de cotas que oferece direitos tão diversos quanto a participação nas pesquisas em curso até a possibilidade de apresentação de potenciais projetos a serem testados e financiados. Na realidade, os ganhos em diversidade, qualificação de profissionais e de aprendizagem compensam a presença de instituições com baixa capacidade de investimento.

Essa estratégia para o desenvolvimento da manufatura avançada surgiu como novidade no cenário da CT&I dos EUA. Concebida e orientada para alavancar a P&D empresarial, o escalonamento industrial e a comercialização de tecnologias, a rede de institutos NNMI se estruturou para operar por meio da criação de institutos temáticos, multiusuários e multi-institucionais, com custos compartilhados e governança correspondente ao nível de cooperação alcançado pela articulação público-privada.

O plano anunciado pelo governo Obama em 2012 previa a criação de 45 institutos, dos quais onze já foram implantados (Quadro 1).

A CHINA E A INDÚSTRIA DO FUTURO

A imagem da China como celeiro da indústria de baixo valor agregado, da cópia de importados e da mão de obra barata e pouco qualificada já não se mostra adequada para uma economia com 1,3 bilhão de habitantes, que apresentou um crescimento médio do PIB em torno de 10% nos últimos trinta anos e tirou da condição de pobreza mais de 600 milhões de pessoas. Em 2015 a China respondeu por cerca de 20% do PIB mundial, contra menos de 3% em 1978. No mesmo espaço de tempo, sua renda per capita aumentou oito vezes.²⁴

[24] Piketty; Yang; Zucman, 2017.

QUADRO I
Manufacturing USA: institutos em funcionamento

Ministério responsável	Instituto e ano de criação	Cidade e estado	Tema e tecnologias
Defesa	America Makes (2012)	Youngstown, OH	impressão 3D e manufatura aditiva
	DMDII (2014)	Chicago, IL	design e manufatura digital
	LIFT (2014)	Detroit, MI	materiais leves
	AIM Photonics (2015)	Albany, NY	circuitos integrados e fotônica aplicada
	NetFlex (2015)	San Jose, CA	eletrônica flexível
	AFFOA (2016)	Cambridge, MA	fibras e tecidos
	ATB-MII (2016)	Manchester, NH	tecnologia de tecidos humanos
Energia	Power America (2014)	Raleigh, NC	semicondutores de banda larga
	IACMI (2015)	Knoxville, TN	polímeros e compósitos
	CESMII (2016)	Los Angeles, CA	sensores e processos digitais
Comércio	NIIMBL (2016)	Newark, DE	biomanufatura

Fonte: EUA (2017).

Embora não faça parte dos objetivos deste artigo uma análise mais substantiva do desempenho chinês, é forçoso esclarecer que a explicação para o acelerado ritmo de sua economia, obviamente, vai muito além do sucesso obtido com as imitações e os baixos salários. Características únicas integram sua estrutura econômica, política e social, marcada pela convivência de planejamento centralizado e partido único em ambiente de livre mercado. Com um Estado autoritário e presença forte na economia, a China conseguiu manter um gigantesco fluxo de investimento público que emulou seu crescimento ao longo de décadas e contribuiu para manter o dinamismo de sua economia baseado em um sistema que desafia pesquisadores e analistas, em especial os de perfil mais liberal.

Ao mesmo tempo, a canalização de esforços para a melhoria contínua da educação em todos os níveis e o foco em CT&I definido como política de Estado responderam por um avanço inédito que distinguiu a China da maioria esmagadora dos países em desenvolvimento.

Como expressão dessas escolhas, os investimentos em P&D atingiram a cifra de 2,05% do PIB em 2014, o que firmou a China como o segundo país do mundo que mais aloca recursos para pesquisa, atrás apenas dos EUA (em termos absolutos). A China, tudo indica, dado seu foco em educação e CT&I, aprendeu com erros de outros países em desenvolvimento, inclusive com os do Brasil.

O resultado é que suas universidades e centros de pesquisa impulsionam o crescimento exponencial de artigos científicos indexados em áreas críticas. A reestruturação das escolas de engenharia permite que a China forme atualmente novas gerações de profissionais, de qualidade comparável às melhores escolas do mundo, o que facilita o empreendedorismo e o avanço de grandes conglomerados como a Baidu, Tencent, Alibaba e Didi Chuxing, que se posicionam na vanguarda da inteligência artificial, robótica, *machine learning*, *big data* e *analytics*.

É certo que o aumento dos custos do trabalho, a necessidade de se adequar aos padrões internacionais de emissões de poluentes e a transição demográfica em curso acelerado, para citar alguns obstáculos, aumentam a pressão por medidas que promovam o crescimento econômico baseado em inovação e sustentabilidade ambiental.

Porém, mesmo que sejam muitos os desafios para que a China possa se equiparar aos países líderes mundiais em tecnologia e estabelecer um modelo de crescimento mais equilibrado, sustentável e inclusivo, é fato que a economia já alcançou em várias áreas dinâmicas semelhantes a algumas regiões mais inovadoras do mundo. O ponto central é que a China quer, planeja e se prepara para construir uma economia puxada pela inovação. E, por essa determinação, tem conseguido avançar rapidamente em suas estratégias.

Nesse cenário, ganham destaque as iniciativas chinesas em relação à manufatura avançada. Há mais de uma década que assuntos relacionados a esse tema frequentam documentos oficiais. Em 2016 o governo lançou um plano de dez anos para a modernização e fortalecimento da indústria, o Made in China 2025 (MiC 2025).

De um lado, o MiC 2025 procura responder aos desafios colocados no âmbito doméstico, como a ineficiência da indústria, que sofre com resultados ainda frágeis “apesar da forte injeção de recursos, pesquisadores bem treinados e equipamentos sofisticados”;²⁵ de outro, pretende sintonizar as empresas chinesas com os avanços tecnológicos mundiais.

No plano do mercado de trabalho, a elevação dos salários e a apreciação da moeda chinesa nos últimos anos representaram um aumento significativo dos custos de produção, o que impulsionou economias com menores custos, a exemplo do Vietnã e Camboja. Em grandes centros, como Beijing e Shanghai, o salário mínimo aumentou cerca de 50% entre 2010 e 2015²⁶ e algumas estimativas sugerem

[25] Unesco, 2015.

[26] Tate, 2015.

[27] Deloitte; Council on Competitiveness, 2015.

[28] Barton; Chen; Jin, 2013.

[29] Wübbecke; Conrad, 2015.

[30] "China Continues Support", 2016.

[31] Ruan, 2015.

que os custos de produção saltaram de 25% para 40% em relação aos Estados Unidos.²⁷ Do lado da demanda, a elevação do poder aquisitivo da população tornou o mercado consumidor de bens e serviços mais exigente, o que aumentou a procura por bens sofisticados, mais próximos do padrão dos importados. Até 2020, algumas projeções sugerem que mais de 50% dos domicílios estabelecidos em grandes centros urbanos serão considerados de classe média e média alta, categorias praticamente inexistentes no início dos anos 2000.²⁸

Nesse ambiente de contínua transformação, as políticas que apontam para a construção de uma economia inovadora ganharam força junto ao Conselho de Estado, que incorporou as linhas de futuro do Industrie 4.0 alemão e do NNMI norte-americano em várias de suas diretrizes.²⁹

O MiC 2025, como iniciativa de governo, é coordenado pelo Ministério da Indústria e das Tecnologias da Informação (MIIT), um dos mais ativos do país. O plano demandou mais de dois anos para ser concluído e envolveu uma centena de profissionais da Academia Chinesa de Engenharia (CAE), que mantiveram constante diálogo com representantes do setor privado. Trata-se, na verdade, da primeira fase de um grande tripé estratégico (a ser complementado pelos planos MiC 2035 e o MiC 2049), cuja pretensão explícita é a consolidação da China como a grande potência industrial do século XXI.

Em sua fase atual, o objetivo é a elevação do patamar tecnológico e produtivo da indústria chinesa, tornando-a mais eficiente e integrada, com base em cinco diretrizes: 1. fazer da inovação o motor do desenvolvimento industrial; 2. melhorar a qualidade dos produtos e serviços disponíveis no mercado; 3. tornar a economia mais sustentável; 4. otimizar a estrutura industrial; e 5. incentivar a formação e qualificação dos recursos humanos, bem como a retenção de talentos.

No rol das ações estratégicas também foram elencados dez segmentos prioritários para viabilizar o reposicionamento global da indústria chinesa. O Quadro 2 traz os segmentos e tecnologias selecionados pelo plano MiC 2025.

O Conselho de Estado informou oficialmente que o governo chinês decidiu investir, apenas em 2016, ¥ 5,2 bilhões (aproximadamente US\$ 780 milhões) na melhoria da manufatura no país.³⁰ Informações extraoficiais indicam que o governo destinará ¥ 8,02 trilhões, cerca de US\$ 1,2 bilhão, para a execução do MiC 2015 nos próximos anos.³¹

Um dos pontos de maior destaque do programa é o incentivo às empresas chinesas a investirem no exterior, com ênfase na aquisição de empresas estrangeiras, estratégia concebida como meio para expansão e absorção de tecnologias críticas. Por conta dos avanços já alcançados como fruto de uma política agressiva de fusões e aquisições, o MiC 2025 não deve ser tomado como uma mera carta de

QUADRO 2
Segmentos e tecnologias prioritários do MiC 2025

Novas tecnologias da informação	Inteligência artificial, displays, comunicação 5G, sensores avançados, circuitos integrados, internet das coisas.
Novos materiais	Grafeno, nanomateriais, próxima geração de semicondutores.
Equipamentos aeronáuticos e aeroespaciais	Satélites, componentes aeronáuticos, turbinas, jatos regionais, helicópteros e jatos executivos.
Equipamentos marítimos e de transporte de alta tecnologia	Navios especiais, equipamentos de exploração em águas profundas e apoio às atividades <i>offshore</i> .
Equipamentos de transporte ferroviário avançados	Trem de alta velocidade, sistemas inteligentes de transporte.
Veículos de energias limpas e veículos de maior eficiência energética	Carros elétricos ou híbridos, veículos inteligentes, células combustíveis a hidrogênio, baterias.
Equipamentos de energia	Armazenamento, redes inteligentes, energia nuclear e eólica, equipamentos de geração, transmissão e transformação.
Biomedicina e produtos médicos avançados	Genômica, técnicas de reprodução biológicas, diagnóstico remoto, telemedicina, tecnologias de células-tronco.
Equipamentos agrícolas	Máquinas agrícolas multifuncionais.

intenções do governo. A compra do controle acionário de uma das mais sofisticadas empresas de robótica do mundo, a alemã Kuka, pelo grupo chinês Midea, é uma demonstração de que não serão poupados esforços para acelerar o processo de *catching up* na indústria de manufatura avançada, por meio da aquisição de empresas consolidadas no mercado global.

A elaboração de planos de longa duração, com a definição *top-down* de áreas estratégicas e foco em tecnologias essenciais marcam a atuação do Estado chinês como o principal ator da inovação e condutor de *mission-oriented policies*.

O DEBATE E AS INICIATIVAS NO BRASIL

Mais do que seu posicionamento no *ranking* mundial, os países que lideram a atual onda de inovações industriais disputam também o perfil e a configuração do novo paradigma tecnológico, composto por novos parâmetros, critérios e protocolos. A participação intensa nessa competição de países como a Alemanha, Estados Unidos, Japão, Coreia, França e China, para citar apenas os mais agressivos, sugere que os próximos dez anos serão críticos para a definição dos traços futuros

da indústria e a seleção dos padrões tecnológicos que prevalecerão na segunda metade deste século.

Exatamente por isso, o Brasil, em que pesem todas as suas dificuldades e carências, deve se preparar para não ficar marginalizado do processo de consolidação da nova indústria digital, a exemplo do que ocorreu com a explosão da microeletrônica, a computação e as tecnologias de informação e comunicação. Quanto mais tardia for sua reação, maior a distância em relação às empresas mais dinâmicas e maiores serão os obstáculos a serem vencidos para reposicionar a indústria brasileira.

A sistematização do que os três países pesquisados fazem de modo semelhante pode ajudar a definir direcionadores para a elaboração de uma estratégia brasileira de manufatura avançada (Quadro 3).

Para além dos pontos comuns, há diferenças nada desprezíveis para a formulação de diretrizes públicas. Nesse sentido, cabe uma distinção entre duas grandes tendências estabelecidas pelos principais *players* dessa evolução da manufatura global. A Alemanha desenvolveu sua estratégia para a manufatura por meio da plataforma *Industrie 4.0*. O desenho desse programa está fortemente lastreado em processos produtivos, automação, robotização e novas máquinas e equipamentos. Isso se deve à estratégia alemã de manter sua liderança no desenvolvimento e fornecimento de tecnologias industriais, em especial no setor de máquinas e equipamentos. A estratégia também se mostra relevante para a manutenção do nível de emprego na Alemanha, que é sustentado por uma elevada partici-

QUADRO 3

Indústria do futuro: o que há de comum nos programas dos Estados Unidos, Alemanha e China

1. Trabalham com foco, prioridades e alto volume de recursos.
2. Pavimentam o caminho para indústrias emergentes.
3. Aumentam o diálogo e a colaboração público-privada.
4. Criam novos fundos de *venture capital* e de apoio a *startups* de tecnologia.
5. Promovem internacionalização de empresas e instituições de CT&I.
6. Estabelecem marco regulatório mais amigável à inovação.
7. Utilizam intensamente sistemas de compras públicas.
8. Apoiam projetos de alto impacto econômico, tecnológico e social.
9. Tornam mais eficiente e transparente os sistemas de governança.
10. Buscam produção mais limpa e sustentável.

pação de empresas pequenas e médias, extremamente dependentes da exportação de soluções industriais.

De um modo distinto, a estratégia para a manufatura avançada nos EUA apoia-se em uma concepção mais ampla do que será a indústria do futuro, englobando iniciativas nas áreas de biotecnologia, materiais, química e energia, dentre outras. Não se trata somente de uma diferença de perspectiva. Trata-se, sobretudo, de uma disputa em relação à liderança da indústria desses países no processo de transição para um novo padrão produtivo.

Ao defender uma visão mais restrita do que seria a indústria do futuro, a Alemanha trabalha com medidas de padronização, de protocolos de comunicação, automação e robotização, que poderão alavancar suas empresas a partir da segmentação dos mercados, de modo a permitir a inserção de diferentes fornecedores alemães, em especial de bens de capital, nas múltiplas etapas do processo produtivo. Da mesma forma, os EUA, ao defenderem um conceito mais amplo, procuram abrir espaço para o que há de mais avançado em sua própria indústria,

QUADRO 4
Aspectos dos programas da Alemanha e EUA que contribuem para diretrizes brasileiras

	Alemanha – Industrie 4.0	EUA – National Network of Manufacturing Innovation (NNMI)
Abordagem	<ul style="list-style-type: none"> • Concepção clássica de manufatura avançada, lastreada em processos produtivos, automação, robotização e integração. • Estratégia: aumentar produtividade e competitividade da manufatura e abrir mercados para novas soluções de sistemas de produção. • Forte protagonismo empresarial na plataforma. 	<ul style="list-style-type: none"> • Expansão das áreas críticas, como materiais, química, bioquímica e energia, bio e nanotecnologia. • Reforço de áreas e setores relevantes: computação, TICs, <i>big data</i>, <i>design</i>, <i>analytics</i>, bio e nanomanufatura. • Ações descentralizadas. • Aumento da cooperação entre governo, empresas, universidades.
Governança do programa	<ul style="list-style-type: none"> • Governança com participação ampla de vários atores — governo central, estados, empresas, sindicatos de trabalhadores, academia e comunidade científica. • Liderança exercida pessoalmente por ministros. • Secretaria geral atua como escritório de projetos, com estrutura enxuta. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Office</i> interministerial, que representa o governo federal e os departamentos. No instituto, a governança é exercida pelo consórcio vencedor, com empresas, universidades e o departamento financiador. • Liderança exercida pessoalmente pelo Presidente da República. • Projetos são definidos pelos institutos e departamento financiador.
Laboratórios	<ul style="list-style-type: none"> • Alavancam infraestrutura já existente do sistema de inovação, com universidades e centros de pesquisa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subvenção econômica para a criação de 45 novos institutos de desenvolvimento tecnológico em parceria público-privada.
Testbeds	<ul style="list-style-type: none"> • Ênfase nos ambientes de testes. Disseminação para pequenas e médias empresas e formação de pessoal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construção de ambientes de testes, prototipagem e validação. • <i>Testbeds</i> estruturados e disseminados pelo programa.

principalmente nas áreas de inteligência artificial, computação, tecnologias de informação e comunicação, *big data*, *design*, *analytics*, biomanufatura e nanomanufatura.

Nas políticas chinesas, ocupa lugar de destaque a compra de empresas estrangeiras, via um grande envolvimento do Estado, como forma de saltar fases na absorção e geração de tecnologias. A atuação incisiva e determinante do Estado chinês em todas as dimensões da manufatura avançada é algo muito distinto do que ocorre na Alemanha e nos EUA, onde os programas de manufatura avançada se dão via cooperação intensa entre governo, empresas, universidades e institutos de pesquisa, muitas vezes de forma descentralizada, como nos EUA, ou com forte protagonismo empresarial, como na Alemanha.

APROVEITAR AS OPORTUNIDADES

A partir da prospecção e absorção das novas tendências de manufatura avançada, começaram a tomar corpo no Brasil uma série de iniciativas tanto públicas quanto privadas.

Em 2016, a Confederação Nacional da Indústria (CNI) divulgou estudo sobre a adoção da manufatura avançada no Brasil, com um mapeamento das potencialidades do país. Segundo a pesquisa, 48% das empresas brasileiras adotam tecnologias digitais em sua produção, com destaque para o setor de equipamentos de informática, eletrônicos e ópticos. No entanto, as empresas brasileiras ainda estão longe da adoção intensiva da automação, prototipagem rápida ou impressão 3D, assim como da utilização de serviços em nuvem, características essenciais para sustentação da manufatura avançada. Ainda em 2016, a Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos (Abimaq) promoveu na Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos (Feimec) uma demonstração de manufatura avançada com base no trabalho cooperativo de mais de vinte empresas, com apoio entidades, como a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

Esforço pioneiro pode ser identificado também na atuação da ABDI que, em 2016 e 2017, financiou pesquisa executada no Brasil, na Alemanha, Estados Unidos e China por dezenas de pesquisadores do Cebrap e de outras instituições, com coordenação técnica do Observatório da Inovação e Competitividade do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo. O amplo estudo da ABDI avançou propostas de diretrizes e sugeriu iniciativas concretas que podem ser integradas a uma estratégia nacional de manufatura avançada. Na mesma direção atuam o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), o Ministério da

Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e o BNDES (com uma prospecção sobre internet das coisas), também empenhados em formular políticas de desenvolvimento e modernização da estrutura industrial do país.

Do ponto de vista técnico, o Sistema Nacional de Aprendizado Industrial (Senai) adaptou algumas de suas estruturas de formação para a formação de competências em manufatura avançada. Exemplo maior é dado pelo Senai-Cimatec, que se concentrou na qualificação de profissionais de processos automatizados e na implantação de uma fábrica integrada de demonstração, testes e ensino, em moldes alinhados com o conceito de *testbeds*. Em sintonia com esse esforço, a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii) certificou institutos específicos voltados para manufatura avançada, como o Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) e o próprio Senai-Cimatec.

Como agrupamento privado, a Mobilização Empresarial para Inovação (MEI) há tempos fomenta o debate entre lideranças empresariais, complementados por estudos e análises explicitados nos “Diálogos da MEI”. Com a mesma preocupação, a MEI diversificou esse debate com expositores brasileiros e estrangeiros no Congresso Nacional de Inovação da CNI, realizado em 2017.

Com base em estudos e levantamentos realizados com empresas brasileiras e experiências de outros países, sugestões para a estruturação de programa para a indústria do futuro começaram a tomar corpo; um programa que só terá êxito se estiver fortemente ancorado no diálogo e cooperação entre o público e o privado.

Apesar das dificuldades atuais, fruto da crise econômica e política que drena as forças do país, é fundamental não perder de vista que a diversificação do sistema nacional de inovação exigirá a alocação de recursos para viabilizar a parceria com a iniciativa privada e impulsionar a transição da manufatura brasileira para um patamar mais elevado. No mesmo sentido, a utilização de instrumentos como o poder de compra do Estado e as encomendas tecnológicas será essencial para abreviar as fases de absorção e desenvolvimento de novas tecnologias.

As indicações registradas a seguir são propostas para discussão e se articulam em torno de três blocos principais voltados para o desenvolvimento da manufatura avançada no país.

1. Rede *testbeds*. Pelo estágio e características das competências e das inovações envolvidas, as iniciativas para manufatura avançada precisam de ambientes compartilhados, multi-institucionais e multiusuários, nos quais empresas e instituições de pesquisa procuram soluções para problemas tecnológicos.

Os *testbeds* são espaços com equipamento e infraestrutura de uso compartilhado, que possibilitam a avaliação e aplicação de tecnologias em ambientes que simulam condições próximas de sistemas reais de produção. Porém, mais do que um suporte aos testes, esses ambientes são utilizados para demonstrações entre parceiros, para a disseminação de técnicas e de qualificação profissional.

Dado o estágio inicial da indústria brasileira, os *testbeds* ganham importância, uma vez que potencializam as tecnologias em sua fase pré-competitiva e ajudam a formar mão de obra especializada e a gerar sinergias que a indústria brasileira tanto precisa. A experiência internacional deixa claro que a existência de estruturas intermediárias é essencial para a fusão de expectativas e articulação de competências distintas presentes nas empresas e nos centros de pesquisa.

Uma rede de *testbeds*, a exemplo da que se desenvolve na Alemanha e também nos EUA, permitiria a ampliação das competências das empresas e daria materialidade a um programa da indústria do futuro, ao multiplicar espaços específicos de convergência de ações, com foco em aplicações empresariais.

2. Integração internacional. É essencial o trabalho de levantamento e identificação de oportunidades, áreas e modelos de acordos de cooperação internacional, com o objetivo de acelerar a disseminação da manufatura avançada. A formação de engenheiros e técnicos capazes de operar e desenvolver essas novas tecnologias constitui-se no principal desafio para a disseminação dessas inovações no Brasil.

A cooperação internacional com centros qualificados e o aprofundamento das reformas nas escolas de engenharia pode ajudar a superar a atual situação. Mesmo assim, dificilmente o ritmo de formação e qualificação da indústria será suficiente para acompanhar o avanço das inovações, dos instrumentos de gestão e das tecnologias.

Exatamente por isso, seria importante que o poder público formasse um programa de internacionalização de empresas, de modo a apoiar a cooperação, a formação de *joint ventures* e a aquisição de unidades em países avançados, de modo a suprir rapidamente a expertise que falta à indústria nacional. A cooperação acadêmica, em sintonia com esse esforço, certamente teria condições de abreviar o tempo de qualificação das empresas brasileiras.

3. Governança. As estratégias para a reestruturação e remodelagem da indústria brasileira exigem que os atuais sistemas de governança sejam repensados e reequacionados. A simples reprodução dos mecanismos de governança tradicionais, integrados basicamente por planejadores públicos, não conseguirá reunir as competências

necessárias para viabilizar um avanço de qualidade nem terá flexibilidade e poder para articular a participação significativa de representantes das empresas que, no seu âmbito, poderiam liderar os processos de mudança.

Nessas condições, os resultados tenderão a surgir apenas no médio e longo prazo, o que evidencia a importância da criação de uma coordenação ampla, diversificada e representativa, que tenha legitimidade e transparência para atrair as empresas, as grandes universidades e centros de pesquisa e dar vida a um programa nacional de manufatura avançada.

Desse prisma, dada a importância da necessária transformação industrial, é fundamental que essa coordenação receba sustentação direta do centro de poder, a Presidência da República, sem o que dificilmente alcançará legitimidade e a capacidade de articulação que o país tanto precisa.

GLAUCO ARBIX é professor titular do Departamento de Sociologia da Universidade de São Paulo, pesquisador do Observatório da Inovação e Competitividade do Instituto de Estudos Avançados (IEA-USP) e ex-presidente da Finep (2011–2015) e do Ipea (2003–2006). Coordenador geral da pesquisa. Foi responsável pela estratégia, abordagem e redação final do artigo.

MARIO SERGIO SALERNO é professor titular do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, onde coordena o Laboratório de Gestão da Inovação. Cofundador do Observatório de Inovação e Competitividade do Instituto de Estudos Avançados (IEA-USP) e ex-diretor do Ipea e da ABDI. Coordenador científico da pesquisa. Realizou levantamento de campo sobre manufatura avançada nos Estados Unidos.

EDUARDO ZANCUL é professor do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Coordenador dos laboratórios Inovalab@Poli e Fábrica do Futuro e pesquisador do Observatório da Inovação e Competitividade do Instituto de Estudos Avançados (IEA-USP). Responsável pelo segmento da pesquisa sobre manufatura avançada. Realizou levantamento de dados e de campo na Alemanha. Contribuiu para a redação e revisão final do artigo.

GUILHERME AMARAL é pesquisador do Observatório da Inovação e Competitividade do Instituto de Estudos Avançados (IEA-USP) e pós-doutorando no Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Assistente de pesquisa, contribuiu na estruturação das análises e ajudou a preparar diferentes versões do artigo.

LEONARDO MELO LINS é mestre e doutorando em sociologia pela Universidade de São Paulo. Foi pesquisador do Observatório de Inovação e Competitividade do Instituto de Estudos Avançados (IEA-USP) e do Cebrap. Atualmente é pesquisador do Cetic.br. Contribuiu com seleção e levantamento de dados e foi assistente de pesquisa no trabalho de campo realizado nos Estados Unidos.

Recebido para publicação
em 21 de agosto de 2017.

Aprovado para publicação
em 18 de outubro de 2017.

NOVOS ESTUDOS

CEBRAP

109, novembro 2017

pp. 29-49

REFERÊNCIAS

- Acemoglu, Daron; Restrepo, Pascual. "The Race between Machine and Man: Implications of Technology for Growth, Factor Shares and Employment". *NBER Working Paper Series*, n. 22.252, maio 2016.
- Alemanha. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. *Digitale Strategie 2025*. 2015. Disponível em: <http://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Dossier/strategie.html>. Acesso em: 12 set. 2016.
- Arthur, W. Brian. *The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves*. Nova York: Free, 2009.
- Barton, Dominic; Chen, Yougang; Jin, Amy. "Mapping China's Middle Class". *McKinsey Quarterly*, jun. 2013. Disponível em: <https://goo.gl/8TrLsj>. Acesso em: 2 mar. 2016.
- Brynjolfsson, Erik; McAfee, Andrew. *Race against the Machine: How the Digital Revolution Is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy*. Cambridge: The MIT Center for Digital Business, 2012.

- "China Continues Support for High-tech Manufacturing". *The State Council*, 26 jul. 2016. Disponível em: <https://goo.gl/tDY1wj>. Acesso em: 7 ago. 2016.
- Christensen, Clayton; Eyring, Henry J. "The Innovative University: Changing the DNA of Higher Education". In: Forum for the Future of Higher Education. *Forum Futures 2012*. Cambridge: Forum for the Future of Higher Education, 2012.
- Crow, Michael M.; Dabars, William B. "A New Model for the American Research University". *Issues in Science and Technology*, v. 31, n. 3, 2015, pp. 55–62.
- Deloitte; Council on Competitiveness. *Advanced Technologies Initiative: Manufacturing & Innovation*. 2015. Disponível em: <https://goo.gl/KMrbW>. Acesso em: 3 jul. 2016.
- Dosi, Giovanni. *Mudança técnica e transformação industrial*. Campinas: Ed. Unicamp, 2006.
- Estados Unidos da América (EUA). National Science and Technology Council. *Advanced Manufacturing: A Snapshot of Priority Technology Areas Across the Federal Government*. Washington, D. C.: NSTC, 2016. Disponível em: <https://www.hsdl.org/?view&did=793650>. Acesso em: 30 maio 2017.
- _____. Government Accountability Office. "Report to Congressional Committees: Advanced Manufacturing". Washington, D. C.: GAO, abr. 2017.
- Ford, George S.; Koutsky, Thomas M.; Spiwak, Lawrence J. "A Valley of Death in the Innovation Sequence: An Economic Investigation". Discussion paper. Phoenix Center for Advanced Legal & Economic Public Policy Studies, set. 2007.
- Gereffi, Gary. "Global Value Chains in a Post-Washington Consensus World". *Review of International Political Economy*, v. 21, n. 1, pp. 9–37, 2014.
- Gereffi, Gary; Lee, Joonkoo. "Why the World Suddenly Cares About Global Supply Chains". *Journal of Supply Chain Management*, v. 48, n. 3, pp. 24–32, jul. 2012.
- Grabowski, Richard. "Premature Deindustrialization and Inequality". *International Journal of Social Economics*, v. 44, n. 2, pp. 154–168, 2017.
- Guajardo, Jorge; Molano, Manuel; Sica, Dante. *Industrial Development in Latin America: What Is China's Role?*. Washington, D. C.: Atlantic Council, 2016.
- Howaldt, Jürgen; Kopp, Ralf; Schultze, Jürgen. "Why Industrie 4.0 Needs Workplace Innovation: A Critical Essay About the German Debate on Advanced Manufacturing". In: Oeji, Peter; Rus, Diana; Pot, Frank D. (Orgs.). *Workplace Innovation: Theory, Research and Practice*. Cham: Springer, 2017. pp. 45–60.
- Lema, Rasmus; Quadros, Ruy; Schmitz, Hubert. "Reorganising Global Value Chains and Building Innovation Capabilities in Brazil and India". *Research Policy*, v. 44, n. 7, pp. 1376–1386, set. 2015.
- Locke, Richard M.; Wellhausen, Rachel L. *Production in the Innovation Economy*. Massachusetts: MIT Press, 2014.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2015*. Paris: OECD, 2015. Disponível em: http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oced/science-and-technology/oced-science-technology-and-industry-scoreboard-2015__sti__scoreboard-2015-en#page1. Acesso em: 1 nov. 2017.
- Piketty, Thomas; Yang, Li; Zucman, Gabriel. "Capital Accumulation, Private Property and Rising Inequality in China, 1978–2015". *NBER Working Paper*, n. 23,368, abr. 2017. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2961092>. Acesso em: 1 nov. 2017.
- Pisano, Gary P. "You Need an Innovation Strategy". *Harvard Business Review*, v. 93, n. 6, pp. 44–54, jun. 2015.
- Pisano, Gary P.; Shih, Willy. "Restoring American Competitiveness". *Harvard Business Review*, v. 87, n. 7–8, jul.–ago. 2009.
- _____. *Producing Prosperity: Why America Needs a Manufacturing Renaissance*. Boston: Harvard Business Review Press, 2012.
- Plattform Industrie 4.0; Alliance Industrie du Futur. *Plan d'action commun; Gemeinsamer Aktionsplan*. Disponível em: https://www.plattform-i40.de/140/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/actionplan-plattform-i40-and-industrie-du-futur.pdf?__blob=publicationFile&v=4. Acesso em: 12 set. 2016.
- Rodrik, Dani. "Premature Deindustrialization". *Journal of Economic Growth*, v. 21, n. 1, pp. 1–33, mar. 2016.
- Ruan, Victoria. "'Made in China': The Smart Revolution Blueprint Set to Bring Beijing into the Digital Age". *South China Morning Post*, 1º jun. 2015. Disponível em: <https://goo.gl/yx9Hd6>. Acesso em: 7 ago. 2016.
- Tate, Paul. "China Adopts 'Smart Manufacturing' Strategy To Up Its Game In Manufacturing". *Manufacturing Leadership*, 10 mar. 2015. Disponível em: <http://www.gilcommunity.com/blog/china-adopts-smart-manufacturing-strategy-its-game-manufacturing>. Acesso em: 2 jul. 2016.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Unesco). *Unesco Science Report: Towards 2030*. Paris: Unesco, 2015. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002354/235406e.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2016.
- Wübbecke, Jost; Conrad, Björn. "Industrie 4.0: Will German Technology Help China Catch Up with the West?" *China Monitor*, n. 23, abr. 2015. Disponível em: http://www.merics.org/fileadmin/templates/download/china-monitor/China_Monitor_No_23_en.pdf. Acesso em: 28 jul. 2017.