

ISSN 2318-2377



TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 622

**APRENDIZADO TECNOLÓGICO:
CAPACIDADE DE ABSORÇÃO, CONHECIMENTO E PROCESSOS DE *CATCHING UP***

Eduardo da Motta e Albuquerque

Abril de 2020

Universidade Federal de Minas Gerais

Sandra Regina Goulart Almeida (Reitora)
Alessandro Fernandes Moreira (Vice-Reitor)

Faculdade de Ciências Econômicas

Hugo Eduardo Araujo da Gama Cerqueira (Diretor)
Kely César Martins de Paiva (Vice-Diretora)

Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar)

Frederico Gonzaga Jayme Jr (Diretor)
Gustavo de Britto Rocha (Vice-Diretor)

Laura Rodríguez Wong (Coordenadora do
Programa de Pós-graduação em Demografia)

Gilberto de Assis Libânio (Coordenador do
Programa de Pós-graduação em Economia)

Adriana de Miranda-Ribeiro (Chefe do
Departamento de Demografia)

Bernardo Palhares Campolina Diniz (Chefe do
Departamento de Ciências Econômicas)

Editores da série de Textos para Discussão

Aline Souza Magalhães (Economia)
Adriana de Miranda-Ribeiro (Demografia)

Secretaria Geral do Cedeplar

Maristela Dória (Secretária-Geral)
Simone Basques Sette dos Reis (Editoração)

<http://www.cedeplar.ufmg.br>

Textos para Discussão

A série de Textos para Discussão divulga resultados preliminares de estudos desenvolvidos no âmbito do Cedeplar, com o objetivo de compartilhar ideias e obter comentários e críticas da comunidade científica antes de seu envio para publicação final. Os Textos para Discussão do Cedeplar começaram a ser publicados em 1974 e têm se destacado pela diversidade de temas e áreas de pesquisa.

Ficha catalográfica

A345a	Albuquerque, Eduardo da Motta e.
2020	Aprendizado tecnológico: capacidade de absorção, conhecimento e processos de <i>Catching Up</i> / Eduardo da Motta e Albuquerque. - Belo Horizonte: UFMG / CEDEPLAR, 2020.
	23 p. : il. - (Texto para discussão, 622)
	Inclui bibliografia.
	ISSN 2318-2377
	1. Educação – Estudo e Ensino. 2. Inovações educacionais. I. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. II. Título. III. Série.
	CDD: 370

Elaborado por Fabiana Pereira dos Santos CRB-6/2530 -
Biblioteca da FACE/UFMG. – FPS/054/2020

As opiniões contidas nesta publicação são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo necessariamente o ponto de vista do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar), da Faculdade de Ciências Econômicas ou da Universidade Federal de Minas Gerais. É permitida a reprodução parcial deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções do texto completo ou para fins comerciais são expressamente proibidas.

Opinions expressed in this paper are those of the author(s) and do not necessarily reflect views of the publishers. The reproduction of parts of this paper of or data therein is allowed if properly cited. Commercial and full text reproductions are strictly forbidden.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL**

**APRENDIZADO TECNOLÓGICO:
CAPACIDADE DE ABSORÇÃO, CONHECIMENTO E PROCESSOS DE *CATCHING UP****

Eduardo da Motta e Albuquerque
Cedeplar-UFMG, Belo Horizonte, Brazil

**CEDEPLAR/FACE/UFMG
BELO HORIZONTE
2020**

* Agradeço o apoio do CNPq (Processos 401054/2016-0 e 307787/2018-4).

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	6
I. APRENDIZADO.....	8
II. CAPACIDADE DE ABSORÇÃO	10
III. NATUREZA DO CONHECIMENTO E CAPACIDADE DE ABSORÇÃO	14
IV. PROCESSOS DE CATCH UP E APRENDIZADO	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21

RESUMO

Revoluções tecnológicas se sucedem e reconfiguram o sistema capitalista global. A propagação das novas tecnologias pode se dar segundo uma lógica expansionista inerente ao sistema ou através de esforços próprios de regiões relativamente atrasadas. Este artigo trata de aprendizado tecnológico, interpretado como um elemento estratégico para a propagação de revoluções tecnológicas. Essa propagação pode variar no grau de iniciativa do ponto de vista da região atrasada - a inserção pode ser mais passiva ou mais ativa, ou seja, a capacidade de absorção tem diversos graus de construção. Essa discussão pode trazer elementos para uma compreensão do papel do aprendizado e das suas mutações ao longo dos processos de *catching up*.

Palavras-chave: aprendizado, capacidade de absorção, conhecimento tácito, *catch up*

Classificação JEL: O30

ABSTRACT

Technological revolutions take place and reconfigure the global capitalist system. The diffusion of new technologies can take place according to a systemic expansionist logic or through domestic efforts of backward regions. This article deals with technological learning, interpreted as a strategic element for the propagation of technological revolutions. This spread can vary according to the degree of initiative from the point of view of the backward region - passive or active insertion, that is, the absorption capacity has different degrees of construction. This discussion can provide elements for an understanding of the role of learning and its mutations throughout *catching up* processes.

Key words: learning, absorption capacity, tacit knowledge, *catch up*

JEL Classification: O30

INTRODUÇÃO

Revoluções tecnológicas se sucedem e reconfiguram o sistema capitalista global (Kondratiev, 1926). A dinâmica do sistema capitalista, que contém a permanente revolução da base tecnológica do sistema, incorpora uma pulsão incessante pela expansão do sistema (Marx, 1867). Historicamente a expansão do sistema originado de mudanças em torno da Revolução Industrial inglesa ocorreu por duas forças motrizes específicas: a primeira através da lógica expansionista inerente ao sistema, a partir de forças contidas no(s) seu(s) centro(s) dinâmico(s), a segunda através de esforços próprios de regiões relativamente atrasadas que buscaram incorporar nas suas economias elementos novos gerados pelas revoluções tecnológicas. Diversas combinações entre essas duas forças motrizes encontram-se nos processos históricos que moldaram as diferentes economias nacionais.

Em ambos processos, seja no processo nos quais os elementos ativos estão apenas no centro ou no processo onde o elemento ativo está na região atrasada, o aprendizado tecnológico é essencial. Há um enorme gradiente entre o aprendizado requerido em um e em outro caso. No primeiro caso, talvez exemplificado na exportação de mercadorias, há a necessidade de aprendizado no uso da mercadoria, da sua conservação e armazenamento, na construção de redes de distribuição, manutenção, conserto e assistência técnica - esses processos mais simples, por sua vez, podem ser base para posterior processo de substituição de importação, que implica em aprendizado em um nível bem mais sofisticado. Ainda no primeiro caso, poderia ser incluído o exemplo da instalação de uma subsidiária de uma empresa transnacional em um país periférico (Teece, 1977): essa instalação, mesmo no interior de uma mesma empresa, envolve custos para a transferência de tecnologia - Teece (1977, p. 243) chega a usar a expressão "absorption costs". No segundo caso, exemplificado pela criação de firmas locais capazes de produzir o bem gerado pela revolução tecnológica na região atrasada, a dimensão do aprendizado é muito mais elevada - há uma vasta literatura sobre os processos bem-sucedidos de *catching up*, desde os casos dos Estados Unidos e da Alemanha até os casos da Coreia do Sul e de Taiwan (Rosenberg, 1972; Gerschenkron, 1962; Okawa e Kohama, 1989; Nelson, 1993; Kim, 1997).

O destaque para o aprendizado nos processos de propagação das revoluções tecnológicas é decorrente da elaboração de Rosenberg (1974, pp. 75-76) que apontou como o processo de imitação - considerado essencial para o processo de desenvolvimento econômico segundo Schumpeter (1911) - exige a persistência de esforços criativos. Ou seja, a criatividade tem de estar presente durante os processos de difusão tecnológica, pois imitação não é um processo simples nem destituído de esforços (1972, p. 60).

Rosenberg explicita uma articulação entre a inovação inicial e uma sequência de inovações incrementais subsequentes para viabilizar o processo de difusão de novas tecnologias. A transferência internacional de tecnologia envolve adicionalmente esforços criativos para a adaptação de tecnologias a diferentes contextos nacionais, com diferentes dotações de fatores e outras especificidades geográficas (Rosenberg, 1972, pp. 59-86; 1974, pp. 151-172). Essa elaboração de Rosenberg estabelece o quadro teórico para a investigação das forças motrizes para a "imitação" e a "difusão" de novas tecnologias: o necessário e indispensável esforço para o aprendizado tecnológico.

A capacidade de aprendizado deve acompanhar a dinâmica iniciada pelas revoluções tecnológicas. Cada *big bang* (Perez, 2010) que origina uma nova revolução tecnológica e cada conjunto

de inovações que impulsionam o aparecimento de novas GPTs (Bresnahan, 2010) impõem novas demandas ao processo de aprendizado tecnológico que é pré-requisito para o processo de difusão de novas tecnologias. Há uma ampliação enorme do estoque de conhecimento tecnológico criado desde a Revolução Industrial, estoque de conhecimentos que tem uma dinâmica muito particular em relação ao conhecimento científico: ao longo do tempo, o conteúdo científico das novas tecnologias cresce, transformando a dimensão do aprendizado necessário para copiá-las. Essa sucessão de revoluções tecnológicas e GPTs se expressa também em uma superposição de diferentes tecnologias, multiplicando rotas possíveis para países relativamente atrasados. Decorrente da dinâmica das revoluções tecnológicas estão mudanças na natureza da firma, com a emergência da empresa multinacional, e nos fluxos tecnológicos internacionais, que além de novos desafios para a periferia também multiplicam caminhos de acesso ao estoque de conhecimentos disponíveis.

Esse estoque crescente de conhecimento, mesmo quando disponível livremente, não é acessível sem esforço, sem aprendizado. Esse esforço necessário para a imitação, cópia, engenharia reversa - qualquer que seja o nome atribuído à continuidade do processo de inovação através da difusão de novas tecnologias - depende de um esforço ativo de agentes (países, firmas, regiões, etc) que sofrem o impacto gerado do centro inovador. Esse esforço pode ser sintetizado no conceito de capacidade de absorção (Cohen e Levinthal, 1989, 1990), conceito que articula este artigo. Como Cohen e Levinthal explicitam, capacidade de absorção envolve inovação e aprendizado, dois aspectos interligados no processo tecnológico mesmo de firmas em países desenvolvidos. Ao longo deste artigo será apresentada uma elaboração que sugere que processos de desenvolvimento na periferia do capitalismo pressupõem a construção de sistemas de inovação, reinterpretados como arranjos institucionais para a viabilização de capacidade de absorção.

Este artigo trata de aprendizado tecnológico, interpretado como um elemento estratégico para a propagação de revoluções tecnológicas pelo conjunto do sistema, em especial para a periferia do sistema. Essa propagação pode variar no grau de iniciativa do ponto de vista da região atrasada - a inserção pode ser mais passiva ou mais ativa, ou seja, a capacidade de absorção tem diversos graus de construção. Essa discussão pode trazer elementos para uma compreensão do papel do aprendizado e das suas mutações ao longo dos processos de *catching up*.

I. APRENDIZADO

Para M. Polanyi, aprendizado é um sinal de inteligência (1958, p. 71). Aprendizado - e ensino - está relacionado com a própria emergência de nossa espécie, em um processo que articula a evolução humana com "expansions of regions of the brain linked to innovation, imitation, tool use and language" (Laland, 2017, p. 230). Segundo Laland, em um capítulo dedicado às bases da cooperação (capítulo 11), sociedades humanas complexas estão relacionadas a cooperação, que por sua vez dependem de capacidade de ensinar: "[h]uman cooperation may, therefore, be unusually extensive as a result of cumulative culture and may be uniquely reliant on important mechanisms that are either rare or entirely absent in other species - specifically, teaching and language" (p. 266). Nessa obra a inovação, essa atividade que explode com a nossa espécie tem um papel estratégico, associada com a inauguração de diversos feedbacks positivos, como entre descobertas, inovações e crescimento do nosso cérebro: "culture provided our ancestors with food-procurement and survival tricks, such as how to gain access to nutrient-rich foods, and how to build a fire or making a cutting-tool. As new inventions arose, hominin populations were able to exploit the environment more efficiently.... Ultimately, an elevated rate of nutrient harvesting paid the substantial costs of growing and running a huge brain.... Our brain growth, in turn, further augmented our capacities for innovation and social learning" (Laland, 2017, p. 235).

A primeira referência importante sobre a questão do aprendizado pode parecer paradoxal: quem sabe aprende. Essa talvez seja uma forma de sintetizar o significado da curva de aprendizado. Scherer e Ross (1990, pp. 98-99) apresentam uma resenha da literatura sobre o tema, indicando um fenômeno já detectado por Adam Smith na sua descrição do papel da divisão do trabalho e da especialização no interior de uma manufatura de alfinetes (1789, Livro 1, capítulo 1): trabalho em equipe, lidando com processos complexos têm ganhos advindos do aprendizado de trabalho em cooperação. O principal exemplo apresentado por Scherer e Ross (1990, p. 99) é a curva de aprendizado na produção de bombardeiros B29. A curva de aprendizado está associada ao processo de *learning by doing*. Para Scherer e Ross (1990, p. 98), "when intricate labor operations must be performed, as in shoe stitching and aircraft or computer assembly, or when complex process adjustments must be worked out through trial and error, as in semiconductor fabrication, units costs fall as workers and operators learn by doing" (p. 98).

Avanços na curva de aprendizado, por sua vez, representam um dos mais efetivos métodos de apropriação, segundo o Yale Survey (Levin et al, 1987), uma pesquisa de campo realizada em 1984 entre empresas líderes do mais sofisticado sistema de inovação do planeta, nos Estados Unidos - foram entrevistados 650 indivíduos representando 130 linhas de negócios em 45 setores industriais (pp. 790-791). Segundo o Yale Survey, para esse conjunto de empresas, "moving quickly down the learning curve" é o método de apropriação mais efetivo para processos e o terceiro mais efetivo para produtos - acima de patentes e segredo comercial, nesse caso. Dosi (1984, p. 118) construiu um instrutivo modelo para ilustrar a construção dinâmica de barreiras à entrada, um processo no qual a dimensão da descida na curva de aprendizado durante o período de monopólio temporário decorrente de decisões sobre preço e volume de produção define a altura da barreira construída.

Ainda acompanhando um núcleo de ponta de empresas atuantes no sistema de inovação dos Estados Unidos, outro resultado do Yale Survey expressa a importância do aprendizado em geral na

dinâmica competitiva, ao investigar os canais principais desse aprendizado: os canais de aprendizado são diversos, com destaque para a engenharia reversa - um sinônimo para a cópia, para a imitação: segundo método mais efetivo de aprendizado para produtos, acima de licenciamento de tecnologia, informações de patentes, leitura de artigos e participação em eventos, conversas com profissionais de P&D de outras firmas e contratação de profissionais da firma inovativa (Levin et al, 1987, p. 806). Um resultado importante do Yale Survey é a descoberta do mecanismo mais importante de aprendizado, tanto para produtos como para processos: P&D próprio. Ou seja, como visto, a firma que sabe aprender e quem quer aprender investe em P&D - processo gerador de conhecimento. Essa investigação está na origem do conceito de capacidade de absorção (Cohen e Levin, 1989), citado por Levin et al (p. 806, nota 36) ainda como um texto para discussão. Capacidade de absorção está aqui definida como "the ability to make use of technology developed by others". Essa elaboração explicita que investimento em P&D é também um método de aprendizado, aliás o método mais importante para um conjunto representativo de empresas no sistema de inovação nos Estados Unidos - como explicita o título do artigo de Cohen e Levinthal, P&D tem dois lados: aprendizado e inovação.

Se quem sabe aprende, quem quer saber precisa aprender. Os mecanismos de aprendizado são muito diversificados. Queiroz (2006, pp. 194-197) revisa esse vasto conjunto, discutindo as várias dimensões desses processos e indicando os autores que enriqueceram a literatura com sua descrição: learning-by-doing (Arrow, 1962), learning-by-using (Rosenberg, 1982), learning-by-interacting (Lundvall, 1988), aprendizado adaptativo (Katz, 1976), além de processos como learning-by-hiring, learning-by-training e learning-by-researching (Queiroz, 2006, p. 196). M. Polanyi (1958, p. 53) discute o processo de aprendizado por exemplo (learn by example), importante tanto para as atividades científicas como tecnológicas.

Talvez a elaboração mais completa sobre a importância do aprendizado na economia está na obra de Lundvall e de colaboradores, sintetizada no livro *The learning economy and the economics of hope* (Lundvall, 2016). Aprendizado sempre foi importante para a dinâmica econômica, mas, especialmente após a revolução das tecnologias da informação e da comunicação, há um papel mais importante para ele: "[i]n a way all economies are learning economies, in the sense that economic life always forms a basis for some processes of interactive learning, which results in the production and introduction of new knowledge. But in the modern learning economy, technical and organizational change has become increasingly endogenous. Learning processes have been institutionalized and feedback loops for knowledge accumulation have been built in such a way that the economy as a whole, including both its production and consumption spheres, is 'learning by doing' and 'learning by using'" (Lundvall, p. 110).

Lundvall e colaboradores elaboram uma transição para a economia do aprendizado, com inúmeras referências à importância do tema. Afinal, como Queiroz (2006, p. 195) ressaltou, o próprio Lundvall já era uma referência para a explicitação do papel do learning-by-interacting na literatura de inovação. Especial destaque merece a discussão sobre os diferentes modos de aprendizado, que se articulam com diferentes formas de conhecimento. Nesse capítulo (capítulo 7, intitulado "Forms of knowledge and modes of innovation"), Lundvall e colaboradores apresentam dois modos diferentes de aprendizado: "mode of learning through Doing, Using and Interacting (DUI- mode)" e o "Science, Technology and Innovation (STI) mode" (Lundvall, 2016, p. 155). Esses diferentes modos de

aprendizado na discussão de Lundvall e colaboradores é instrutiva por sistematizar os diversos meios pelos quais os processos de aprendizado tecnológico são implementados: o ponto mais importante na diferenciação desses modos de aprendizado está na natureza do conhecimento envolvido, que Lundvall e colaboradores enfatizam o papel do conhecimento codificado para o STI-mode (p. 160) e outras formas de aprendizado, no DUI-mode (pp. 160-162).

Tanto a elaboração de Levin et al (1987) como de Lundvall (2016) relacionam-se com a importância do aprendizado na dinâmica econômica de países avançados, mais especificamente, na estratégia de firmas localizadas em países avançados. Para o conjunto da periferia, aprendizado tem um significado distinto, estratégico por outras razões. Essa importância do aprendizado está destacada na elaboração de Viotti (2002), que sugere o conceito de sistemas de aprendizado para o caso de países que como o Brasil e a Coreia do Sul buscam alcançar o desenvolvimento. Ao invés de sistemas de inovação, Viotti propõe assim o conceito de sistemas de aprendizado, que permite uma diferenciação entre os casos do Brasil e da Coreia do Sul: aprendizado passivo no caso do Brasil e ativo no caso da Coreia do Sul. A elaboração de Viotti tem o mérito de destacar o papel do aprendizado (ativo) na busca da superação do subdesenvolvimento.

Essa perspectiva traz inúmeros problemas adicionais para a questão do aprendizado tecnológico, pois a busca de novas tecnologias pressupõe um conhecimento prévio sobre o que se quer buscar. A literatura sobre os processos de catch up e de desenvolvimento é rica em exemplos para reflexão, pois todos os países relativamente atrasados usaram extensivamente de cópia, engenharia reversa e imitação em pontos decisivos de seus processos. Rosenberg (1972), por exemplo, é ilustrativo ao discutir como durante o século XIX houve uma transição de uma "America as borrower" (capítulo 3) para uma "America as initiator" (capítulo 4). Uma questão chave na fase de imitação foi a "natureza seletiva da transferência e difusão" (p. 61). Mais recentemente o processo de catch up coreano foi descrito por Kim (1997) em seu livro intitulado "Da imitação para a inovação".

Para desenvolver o papel do aprendizado tecnológico nesses processos a elaboração de Cohen e Levinthal (1989, 1990) é essencial, pois permite investigar o que é necessário saber para aprender.

II. CAPACIDADE DE ABSORÇÃO

Teixeira (2019) apresenta uma boa síntese das origens teóricas do conceito elaborado por Cohen e Levinthal, combinando uma avaliação dos contextos de crítica à "pressuposto de conhecimento disponível sem custo" e a crítica aos estudos que exploram a "relação entre concentração de mercado e atividades inovativas das firmas" com um rastreamento da influência de autores clássicos sobre teorias da firma (Penrose, Chandler, Nelson e Winter).¹

Capacidade de absorção é um conceito elaborado por Cohen e Levinthal (1989, 1990) em dois textos, explicitando talvez uma outra faceta do paradoxo quem-sabe-aprende. Em pelo menos uma passagem Cohen e Levinthal colocam a capacidade de absorção como sinônimo de aprendizado (1989,

¹ As discussões na defesa da tese de André Teixeira (dia 17 de dezembro de 2019), com os membros da banca examinadora (Márcia Rapini, Thiago Caliari, Renato Garcia, Janaína Ruffoni e Leandro Silva) foram excelentes e contribuíram muito para reflexões que articulam este artigo.

p. 569). Mas trata-se de uma dimensão particular do aprendizado: nos processos de learning-by-doing, argumentam Cohen e Levinthal, uma firma "becomes more practiced, and hence, more efficient at doing what it is already doing. In contrast, with absorptive capacity a firm may acquire outside knowledge that will permit to do something quite different" (1989, p. 570).

Como já indicado por Levin et al (1987, p. 806), atividade de P&D desenvolvida por uma firma é o método de aprendizado mais eficiente segundo o Yale Survey. Cohen e Levinthal explicitam que o P&D interno desenvolve a habilidade da firma de "identify, assimilate and exploit knowledge from the environment" (p. 569). Dada a dependência da "industrial innovation upon extra-mural knowledge, absorptive capacity represents an important part of a firm's ability to create new knowledge" (p. 570). O processo é tão articulado, que Cohen e Levinthal explicitamente combinam inovação e aprendizado como duas dimensões de um processo integrado.

Há muito conhecimento relevante para o progresso tecnológico de empresas disponível em múltiplas formas e o estoque de conhecimento disponível cresce aceleradamente. Mas para o acesso a esse conhecimento crescente devem ser realizados investimentos específicos e internos à empresa: não há absorção sem custo, sem investimentos específicos para a compreensão do que está disponível.

Esses investimentos são importantes e substanciais. Cohen e Levinthal sugerem que esses investimentos são substanciais, que a maior parcela desses custos relacionam-se ao desenvolvimento de "a stock of prior knowledge that constitutes the firm's absorptive capacity" e que um benefício dos gastos em P&D é "its contribution to this knowledge base" (p.570). Ou seja, em termos do paradoxo, quem-sabe-aprende, a outra faceta é para-aprender-precisa-saber: investimentos em conhecimento são pré-requisito para o aprendizado.

Na sequência da elaboração, Cohen e Levinthal articulam os incentivos para o aprendizado com "the quantity of knowledge to be assimilated" e com "the ease with which learning may occur" (p. 570).

O Yale Survey delimita o contexto no qual a elaboração desse conceito foi desenvolvido: trata-se de um conceito elaborado no interior do sistema de inovação mais avançado na década de 1980.²

Baseados no Yale Survey, a partir de uma amostra com 1.719 unidades de 318 firmas em 151 linhas de negócios nos Estados Unidos, Cohen e Levinthal (1989, p. 579) implementam uma análise empírica que articula os determinantes do progresso tecnológico (oportunidade, apropriabilidade e condições de mercado) com capacidade de absorção. Na conclusão, sugerem que a compreensão do papel dual dos investimentos em P&D contribui para esclarecer como as condições de oportunidade e apropriabilidade influenciam as atividades inventivas da firma, pois na medida em que elas "depend importantly upon the assimilation of external knowledge, their influence is mediated by the firm's capacity to recognise, assimilate and exploit information" (p. 593).

Explicitar esse contexto é duplamente para um esforço de construção de uma microeconomia do processo de catching up: é necessário elaborar sobre o papel da capacidade de absorção em processos de desenvolvimento - uma dimensão regional, que inclui a periferia do sistema capitalista global - e sobre as mudanças que ocorreram nesse sistema após a década de 1980.

² Informações sobre o Yale Survey encontram-se em Levin et al (1987, especialmente pp. 788-793).

Cohen e Levinthal abrem espaço para uma utilização do conceito de capacidade de absorção para além do contexto coberto pelo Yale Survey ao sugerir que "sources of outside knowledge are often critical to the innovation process, whatever the organizational level at which the innovating unit is defined" (1990, p. 128). Há também referências preciosas quanto a transferência internacional de tecnologia agrícola (1989, p. 569) e processos nacionais de desenvolvimento (1990, p. 128).

Evenson e Kislev (1973) são os autores citados por Cohen e Levinthal, em uma referência na qual ressaltam que "international transfer of agricultural technology depends, in part, upon recipients' own research efforts" (1989, p. 569, nota 1). Evenson e Kislev investigam a Revolução Verde, que intensificou os esforços de mudança tecnológica na agricultura, processo que levanta a questão "of optimal research effort and the mixture of indigenous research and borrowing of knowledge" (p. 1310).

No primeiro desses estudos - o trabalho citado por Cohen e Levinthal (1989, p. 569) - Evenson e Kislev (1973) concluem que "[a] major component of research's contribution is through the acceleration of the transfer of knowledge". Ressaltam que "[l]ittle knowledge is borrowed if no indigenous research takes place". (p. 1324). Posteriormente Evenson e Gollin (2000) indicaram o papel complementar entre centros de pesquisa internacionais e sistemas nacionais de pesquisa agrícola (p. 759) - na medida em que "diffusion patterns reflect the importance of location-specific breeding", Evenson e Gollin destacam o papel de "second-stage research", desenvolvida por centros locais, para lidar com a adaptação local (p. 759). Evenson (2005) investiga as bases institucionais da difusão dessas tecnologias, com uma base de dados que permite identificar que a revolução verde não se difundiu por 12 países (p. 365). Nesses países, observa Evenson (2005, p. 368), "[n]one had universities to train agricultural scientists". Essa observação de Evenson é muito importante como evidência empírica para a discussão dos custos especiais para o acesso a informações publicamente disponíveis, para a compreensão das dificuldades de acesso a conhecimento codificado e para elementos de uma microeconomia do processo de *catching up*.

Talvez seja importante ressaltar que a investigação da difusão de tecnologias associadas à Revolução Verde lida com tecnologias não submetidas à propriedade intelectual, com tecnologias produzidas para serem difundidas o mais amplamente possível.³ Por essa característica, os estudos de Evenson e colaboradores (Evenson e Kislev, 1973; Evenson e Gollin, 2003; Evenson, 2005) sobre a difusão da revolução verde investigam um tipo de difusão que está em um extremo de uma tipologia em torno de gradientes de crescente restrição à difusão via propriedade intelectual. Dessa forma, esses estudos permitem compreender os problemas relativos à difusão tecnológica mesmo em um contexto no qual inexistem restrições em termos de propriedade intelectual à sua difusão. Na medida em que transitamos para tecnologias com maior utilização de propriedade intelectual estaremos adicionando outros problemas à sua difusão.⁴

Cohen e Levinthal (1990, p. 128) referem-se ao nível nacional como um nível organizacional importante para a investigação de capacidade de absorção: o Japão é a referência neste caso, com

³ Como Evenson e Kislev (1973, p. 1309) mencionam, o Prêmio Nobel da Paz de 1970 foi atribuído a Norman F. Borlaug. Segundo a Comissão do Prêmio Nobel, "[t]he expression 'the green revolution' is permanently linked to Norman Borlaug's name" (<https://www.nobelprize.org/prizes/peace/1970/borlaug/facts/>)

⁴ Há um ponto que mereceria uma discussão adicional, mas que ultrapassa o escopo deste artigo, que seria a comparação entre tecnologias industriais e agrícolas em relação à facilidade de difusão e à facilidade de aprendizado. Para Rosenberg (1974, p. 168) a tecnologia industrial "is nevertheless much easier to transfer than agricultural technology".

citações aos trabalhos de Rosenberg e Steinmueller (1988) e Mainsfield (1988). Essas referências permitem uma articulação do conceito de capacidade de absorção com a temática do desenvolvimento, em especial com a construção de sistemas de inovação para a implementação de processos bem sucedidos de *catch up*. É importante lembrar como na década de 1980 o Japão era uma importante referência para estudos de tecnologia, constituindo-se inclusive numa referência para o início das elaborações do conceito de sistema de inovação (Freeman, 1987). Na conclusão do trabalho de Mainsfield (1988, p. 228) encontra-se uma clara elaboração que associa os gastos com P&D com capacidade de aprendizado: "[a]pparently, the Japanese advantage has been confined largely to applied R&D, particularly R&D concerned with the adaptation and improvement of existing technology". Ressalte-se que a adaptação da tecnologia existente é diretamente associada ao seu melhoramento.

Porém, o processo de *catch up* japonês ocorreu antes de rodadas de fortalecimento da propriedade intelectual na esfera internacional, um novo contexto para a difusão de tecnologias. Mazzoleni e Nelson (2007) avaliam esse novo contexto, que pode ser considerado o outro extremo do gradiente de potencial de difusão tecnológica, ao discutir a ampliação do escopo da propriedade intelectual no contexto pós-TRIPs (p. 1514). Para Mazzoleni e Nelson essa mudança implica na ampliação da importância de "indigenous technological and scientific capabilities" (p. 1515). Por outro lado, outras mudanças importantes relacionam-se com novas possibilidades de aprendizado, pois para Mazzoleni e Nelson "university-mediated transnational conduits of learning will be of particularly great importance during the 21st Century for countries seeking to catch-up" (p. 1514) - novos canais para a construção e fortalecimento de capacidade de absorção.

A referência ao Japão é útil para este artigo porque remete a pistas sobre como outras dimensões da capacidade de absorção devem ser construídas em outros níveis de organização, diferentes das firmas, o foco central da elaboração de Cohen e Levinthal. Três elementos foram ressaltados como contribuições do P&D interno para as atividades inovativas: a habilidade de "identificar, assimilar e explorar conhecimento do ambiente" (1989, p. 569). Os textos de Rosenberg e Steinmueller e de Mainsfield centram a avaliação na capacidade de assimilar e explorar o conhecimento externo, pois lidam com o Japão do final do processo de *catch up*. Outros textos destacam o esforço para identificação das tecnologias relevantes e um aprendizado com qual a sucessão de tecnologias que devem ser assimiladas (Okhawa e Kohama, 1989). Essa habilidade para a identificação de tecnologias é discutida por Rosenberg (1972, p. 61), tratada como seletividade, para a fase dos Estados Unidos como imitador no século XIX. Arora e Gambardela (1994, 2010) elaboram sobre uma "ability to evaluate", distinta da "ability to utilize", como dois aspectos da capacidade de absorção (1994, p. 93; 2010, p. 651). A habilidade para avaliar está diretamente relacionada ao que Rosenberg (1990) considera uma das razões para firmas investirem em pesquisa básica: um bilhete de entrada para uma rede de informação tecnológica. Arora e Gambardela (1994, p. 108) raciocinam com a divisão do trabalho inovativo, ressaltando a crescente complexidade do estoque de conhecimento disponível, tanto científico como tecnológico, dinâmica que exige das firmas capacidades específicas para avaliar as tecnologias disponíveis. Esse aspecto, certamente, é importante para outros níveis organizacionais, como países.

No caso do nível de organização nacional, antes da capacidade de identificar tecnologias, o que pressupõe conhecimento prévio, é necessário reconhecer a existência de um estoque de conhecimentos que deve ser acessado e assimilado. A complexidade desse movimento preliminar a todo processo de

absorção é ilustrada nos casos do contato inicial da China e do Japão com as tecnologias geradas pelo primeiro big bang - a revolução industrial. O reconhecimento que algo importante tinha acontecido na Inglaterra não foi instantâneo na China, talvez posterior a derrotas militares importantes na década de 1840 e do contexto de relações externas desiguais construídas a partir dessas derrotas. Fairbank (1978) estuda o movimento nacional de fortalecimento tecnológico interno à China como um processo iniciado na década de 1860 e Skocpol (1979, p. 167) indica a influência da pressão militar do Ocidente sobre o desenvolvimento da percepção no Japão da necessidade de mudanças internas, que resultaram na Revolução Meiji e no processo subsequente de busca de tecnologias no Ocidente para ultrapassar o atraso relativo do Japão.

Essas ilustrações históricas sugerem o acréscimo de uma dimensão antes da capacidade de identificar tecnologias: a decisão de buscá-las. Decisão estratégica, porque ela estabelece os investimentos na capacidade de identificar tecnologias relevantes. Tanto no caso do Japão como no caso da China, viagens para conhecer melhor países avançados foram parte desses passos iniciais (Fairbank, 1978, p. 537-538).⁵

A maior proximidade geográfica e tecnológica da Europa Ocidental em relação à Inglaterra da revolução industrial - o menor atraso relativo, na elaboração de Gerschenkron -, facilitaram essa decisão estratégica inicial e o início mais rápido da busca das tecnologias relevantes.

Assim, a resenha da literatura a partir do conceito de capacidade de absorção sugere uma sequência que requalifica o papel do conhecimento no processo de aprendizado. Se quem sabe aprende, o processo se inicia com a decisão de querer aprender, que alimenta a busca de conhecimento para desenvolver a habilidade de avaliar, que define o que se buscará assimilar, assimilação que pressupõe criatividade suficiente para adaptar inovações a novos ambientes, expressando a noção que a imitação é uma continuidade do processo de inovação, como sugere Rosenberg (1974).

III. NATUREZA DO CONHECIMENTO E CAPACIDADE DE ABSORÇÃO

A natureza do conhecimento está fortemente relacionado com a facilidade do aprendizado, um dos elementos importantes no modelo de Cohen e Levinthal (1989, sub-seção II.1). Há uma vasta literatura sobre a dicotomia entre o conhecimento codificado e o tácito, na qual o debate entre Cowan et al (2000) e Johnson et al (2002) é ilustrativo. Essa literatura se inspira em Michael Polanyi (1958, 1966) e sua elaboração sobre a dimensão tácita na atividade científica - elemento incorporado por Kuhn (1969, p. 44 e p. 190).

A elaboração de Michael Polanyi discrimina diferentes tipos de conhecimento - técnico x científico (1958, p. 331), "articulate" e "inarticulate" ou "unspecifiable knowledge" (1958, p. 53), "pure" and "applicable" (1958, p. 175), a discussão geral sobre o conhecimento tácito. Além de importante para a compreensão das diferenças entre o que deve ser absorvido, a elaboração de M. Polanyi ganha

⁵ A diferença na velocidade da absorção das tecnologias avançadas pelo Japão e pela China é um capítulo importante do tema desigualdade da difusão do progresso tecnológico. A capacidade do Japão, dada a organização legada pela Era Togukawa - uma sociedade organizada com capacidade de aprendizado - em reagir à pressão específica representada pela chegada da esquadra do almirante Perry, em 1853, é demonstrada pela revolução Meiji, em 1868, que levou a uma rearticulação política que inicia o aprendizado com políticas industriais descrito por Ohkawa e Kohama (1989, capítulo 7).

atualidade pela sua contribuição em discussões sobre o horizonte e os limites da inteligência artificial, na medida em que o que não pode ser especificado não pode ser programado. Autor (2015, p. 11) sugere o "Polanyi's paradox", a partir do livro *The tacit dimension*, para discutir esses limites para o desenvolvimento da inteligência artificial e da robótica. Essa discussão renova a importância das contribuições de M. Polanyi para o nosso tema.⁶

A introdução do papel do conhecimento tácito na literatura de economia da inovação, segundo Cowan et al (2000, p. 219), deve-se a Nelson e Winter (1982), que utilizam esse conceito em diversas passagens (p. 76, p. 119, p. 391) a partir de três obras de Polanyi (1958, 1962, 1966). Ao propor uma utilização específica do conceito de "skills" associada ao conceito de conhecimento tácito, Nelson e Winter (1982) são explícitos quanto a esse aspecto da elaboração de M. Polanyi: "[i]t provides a useful perspective on other realms of knowledge - in his case, that of scientific knowledge; in ours, that of organizational capability" (p. 76).

Esse diálogo proposto por Nelson e Winter (1982) com a elaboração de M. Polanyi é muito fértil e merece uma exploração mais ampla, uma indicação de quão complexo é o processo de absorção de conhecimento. Como tanto o conhecimento tecnológico como o científico são importantes para o processo contemporâneo de aprendizado tecnológica, é importante tratar da dimensão tácita nos dois tipos.

M. Polanyi discute as diferenças entre ciência e tecnologia (Polanyi, 1958, pp. 174-184), associando-as a diferentes formas de aprendizado. O objetivo principal de M. Polanyi parece ser demonstrar o papel do conhecimento pessoal, da intuição, da dimensão tácita para o avanço da ciência em geral. Mesmo a mais formalizada das disciplinas científicas, as matemáticas, dependem fortemente de elementos tácitos, de experiência e de prática para o seu aprendizado (p. 125). Há uma "unespecifiable art of scientific research" (p. 53), de penetração muito mais difícil pelas diversas regiões do planeta. Revisitar a dimensão tácita da atividade científica é importante dado o crescente conteúdo científico das atividades tecnológicas e o papel das universidades e institutos de pesquisa para processos de catch up (Mazzoleni e Nelson, 2007).

A questão do aprendizado é central na elaboração de M. Polanyi.⁷ Certamente, a questão do aprendizado desenvolveu-se muito desde a redação dos livros de M. Polanyi - os elementos cognitivos discutidos por Cohen e Levinthal (1990, seção II.1)⁸ e o papel do aprendizado e do ensino no desenvolvimento do cérebro humano, apresentada por Laland (2017) são exemplos desses avanços. M. Polanyi, especialmente no livro *Personal Knowledge*, apóia-se em pesquisas disponíveis sobre aprendizado em animais e em crianças (nesse caso utilizando-se da obra de J. Piaget) com a finalidade de articular a capacidade humana de aprendizado com nossos antecessores na evolução (1958, p. 76). Desses elementos M. Polanyi apresenta características distintivas das ciências naturais, da tecnologia e das matemáticas (1958, p. 184).

⁶ Ver M. Polanyi (1958, p. 176, pp. 261-262).

⁷ As referências utilizadas por M. Polanyi são E. R. Hilgard, O. H. Mowrer, E. C. Tolman, B. F. Skinner, Pavlov, W. Köhler e J. Piaget.

⁸ As referências utilizadas por Cohen e Levinthal são G. Bower e E. R. Hilgard, H. C. Ellis, W. K. Estes e H. F. Harlow.

O ponto de partida de M. Polanyi (1958, pp. 71-77) é uma análise de "inarticulate manifestations of intelligence in animals and children" (p. 71). Três modos de aprendizado são apresentados: "trick learning" (p. 71), "sign-learning" (p. 72) e "latent learning" (p. 73). Esses três tipos de aprendizado animal "are primordial forms of three faculties more highly developed in man. Trick-learning may be regarded as an act of invention, sign-learning as an act of observation; latent learning as an act of interpretation" (p. 76). Embora "the animal possesses each of these three faculties, he cannot combine them" (p. 82). Nesse ponto M. Polanyi cita Piaget e afirma que "[i]t is this intelligence which the infant begins to develop as he begins to speak" (p. 82).

A distinção da ação humana tem a ver com a linguagem, cujo uso "develops each of these faculties into a distinctive science to which the other two contribute subsidiarily" (p. 76). Completando um encadeamento a partir dos três modos de aprendizado, M. Polanyi associa a invenção às atividades de engenharia e tecnologia, a observação às ciências naturais e a interpretação às matemáticas (p. 76).

A discussão de M. Polanyi sobre as relações entre ciência e tecnologia (pp. 174-184) é muito rica, especialmente porque foi realizada em uma fase na qual a dependência da tecnologia em relação à ciência embora importante ainda era limitada.

Para M. Polanyi (1958, p. 174), "[t]echnology always involves the application of some empirical knowledge and this knowledge may be part of natural science. Our contriving always makes use of some anterior observing". Investigando a estrutura lógica da tecnologia, M. Polanyi explicita que "even in highly complex and predominantly articulate branches of technology, like the manufacture of cloth or the production of steel, there is involved a measure of unspecifiable know-how which is essential to the efficiency of labour and the quality of its product" (pp. 175-176). A combinação entre o tácito e o codificado já é sugerida nesse ponto, pois "even though the teachings of technical science can become effective only by their skillful execution, the foundation of modern man's technical mastery lies in the explicit exposition of technology by textbooks, journals, patents etc" (p. 176).

Uma distinção nítida entre ciência e tecnologia é construída a partir da associação da invenção com a tecnologia e da descoberta com a ciência (pp. 176-177). Porém, essa distinção é compatível com domínios que formam uma transição entre elas, explicitando uma inter-relação entre ciência e tecnologia: "[t]o the extent which a technical process is an application of scientific knowledge it contributes nothing to science, while empirical technology, which is itself unscientific, may well offer - for this very reason - important material for scientific study" (p. 179).⁹ Prosseguindo sua análise, M. Polanyi sugere a existência de "systematic technology" (exemplos são eletro-técnica e aerodinâmica) e "technically justified science (exemplos são o estudo do carvão, de metais, do algodão), dois campos de estudo que se localizam entre a ciência pura e a tecnologia pura, campos que "may overlap completely" (p. 179).¹⁰

Essa superposição pode ser uma indicação da inexistência de um hiato abissal para processos de aprendizado de conhecimentos tácitos ou codificados, pois todos os conhecimentos tecnologicamente

⁹ Essas observações de M. Polanyi antecipam elementos da elaboração de Rosenberg sobre "quão exógena é a ciência".

¹⁰ Um exemplo de uma superposição entre ciência e tecnologia, diretamente associada a elementos tácitos ligados à atividade científica, é sugerido por Pavitt (1991, p. 114): uma das funções da pesquisa básica, acadêmica, "is the provision of trained research personnel, who go on to work in applied activities and take with them not just the knowledge resulting from their research, but also skills, methods, and a web of professional contacts that will help them tackle the technological problems that they later face".

relevantes envolvem elementos das duas dimensões, o que pressupõe investimentos específicos para a prática, para seguir exemplos, para experiências durante o processo de aprendizado.

Uma das atividades mais fortemente codificadas é a matemática, codificação combinada com elevado grau de formalização. Mesmo a matemática "can be learned only by practicing its application: its true knowledge lies in our ability to use it" (1966, p. 17). Para Polanyi, esse caso extremo de codificação e formalização pressupõe um processo de aprendizado carregado de elementos pessoais, de prática, de solução de um problema pela primeira vez por quem aprende que é um processo de descoberta pessoal: "[t]he fact that the teaching of mathematics relies to a large extent on practice shows that even this most highly formalized branch of knowledge can be acquired only by developing an art" (p. 125). M. Polanyi (1958, p. 125) relaciona outras disciplinas com esse esforço de aprendizado: "mechanics, electrodynamics, thermodynamics and the mathematical branches of engineering; you cannot master any of these subjects without working out concrete problems in them" (p. 125). Em outras áreas científicas como química, biologia e medicina, há forte dependência na "transmission of skills and connoisseurship from master to apprentice" (p. 55).

A elaboração de M. Polanyi sugere, portanto, que há importantes elementos tácitos, baseados na experiência, na prática e no exemplo para o aprendizado de áreas de conhecimento fortemente codificadas. Essa observação é relevante para compreender uma economia que se baseia em estoques crescentes de conhecimento codificado que podem ser acessados de diversos meios pelos mecanismos da revolução das tecnologias de informação e comunicação. Esse estoque crescente e essa maior acessibilidade não elimina nem reduz o elemento tácito do ponto de vista de quem absorve esses conhecimentos. A discussão de Arrow (1974, pp. 39-43) sobre custos da informação, relida após esse diálogo com M. Polanyi, indica como esses elementos podem se articular. Ao discutir o acesso a informação - interpretada como conhecimento codificado e livremente acessível, como um artigo científico -, Arrow lista os custos específicos para a absorção daquele conhecimento. Longe de ser gratuito, essa absorção pressupõe investimentos específicos de infra-estrutura (biblioteca, meios de comunicação) e investimentos na pessoa que absorverá esse conhecimento (formação, educação, experiência). A ilustração apresentada por Arrow é a necessidade de investimentos razoáveis, em termos de recursos e tempo, para o aprendizado de uma nova língua, na qual o texto está escrito. Esse exemplo pode ser estendido para a necessidade de formação em biologia molecular para a compreensão de genomas publicamente disponíveis, formação em engenharia para compreender informações disponibilizadas em patentes. O caso da difusão da revolução verde discutido nos trabalhos de Evenson pode agora ser retrabalhado a partir dessa discussão de Arrow: embora os conhecimentos da revolução verde estejam codificados, disponíveis publicamente, a sua difusão pressupõe investimentos em universidades que empreguem cientistas que possam transferir esses conhecimentos para a agricultura local.

A elaboração de M. Polanyi, dessa forma, esclarece a complexidade do processo de aprendizado, pois mesmo a absorção e transferência de conhecimento codificado pressupõe investimentos substanciais. Esse conjunto de investimentos para desenvolver a capacidade de aprendizado necessário para acessar o estoque de conhecimento disponível é um ponto de partida para processos de *catch up*.

IV. PROCESSOS DE CATCH UP E APRENDIZADO

O estoque de conhecimento tecnológico e científico acumulado após seis revoluções tecnológicas (Perez, 2010; Greenstein, 2015) e inúmeras GPTs (Bresnahan, 2010) é expressivo e crescente, na medida em que novas tecnologias continuam sendo geradas e se superpondo (OECD, 2016). Como apresentado nas seções anteriores, a natureza do conhecimento acumulado inclui elementos tecnológicos baseados em conhecimentos tácitos, elementos científicos fortemente dependente da dimensão tácita, acumulados em pessoas, organizações - firmas e universidades - codificados em textos - artigos, patentes, manuais - que dependem de conhecimento prévio acumulado por pessoas e instituições para serem compreendidos.

Esse conhecimento acumulado apresenta para um país relativamente ultrapassado uma multiplicidade de caminhos hoje muito mais ampla do que os caminhos disponíveis para os países que buscaram emular a revolução industrial britânica. Quando os Estados Unidos transitaram de um país imitador para um país inovador o estoque de tecnologias disponibilizados pelas duas revoluções tecnológicas anteriores se limitava às tecnologias baseadas no vapor e às tecnologias de processamento de metais - são as duas tecnologias discutidas por Rosenberg (1972, pp. 59-86). O Japão, que iniciou seu processo de *catching up* posteriormente, a partir de 1868, se defrontou com um estoque bem mais amplo, com as evoluções em tecnologias químicas, metalúrgicas, mecânicas: um problema importante para o seu processo inicial de industrialização foi descobrir qual a sequência de indústrias e tecnologias que deveriam ser absorvidas, um processo que dependeu de muita tentativa e erro (Ohkawa e Kohama, 1989, p. 250).

Após seis revoluções tecnológicas, países atrasados se defrontam com um estoque de conhecimentos que superpõe diversas camadas tecnológicas e científicas. Avanços em tecnologias agrícolas, por exemplo, já dependem de algum domínio de biotecnologia (Evenson, 2005). Tecnologias relativas à energia superpõem processos baseados em combustíveis fósseis e processos baseados em novas fontes de energia como a solar. O leque de indústrias existentes superpõe indústrias têxteis e indústrias eletrônicas.

A sucessão de revoluções tecnológicas apresenta para processos de *catch up* contemporâneos um quadro contraditório, com desafios e oportunidades.

Por um lado, há essa multiplicidade de alternativas criadas pela superposição de revoluções tecnológicas que acrescenta desafios aos países retardatários. Esses desafios derivam-se da exigência de importantes investimentos para a definição de quais tecnologias seriam alvo de processos de absorção e ao impor aos países atrasados novas demandas em termos de conhecimento prévio dado o crescente dependência científica de novas tecnologias.

Por outro lado, a sucessão de revoluções tecnológicas detona inúmeras transformações que multiplicam os canais pelos quais fluxos tecnológicos ocorrem, abrindo novas oportunidades. A crescente internacionalização de fluxos científicos e tecnológicos e o estabelecimento de redes internacionais de ciência e tecnologias ampliam os canais através dos quais países atrasados podem acessar o estoque de conhecimento disponível.

Esses desafios e oportunidades estabelecem demandas particulares para a construção e aperfeiçoamento de sistemas de inovação na periferia, na medida em que esses arranjos institucionais têm, em primeiro lugar, a função de estabelecer e fortalecer a capacidade de absorção da economia. Os sistemas educacional e universitário - e a infra-estrutura científica que eles sustentam - passam a ter uma função nova nesse processo, na medida em que eles são uma base do conjunto da capacidade de absorção da região.

A primeira função é mapear tecnologias existentes, acompanhar desenvolvimentos científicos e tecnológicos, para conhecer a estrutura do estoque de conhecimentos disponíveis. Seria uma função anterior à habilidade de avaliar: a capacidade de listar o existente e o acessível. Em termos do paradoxo inicial deste artigo, o agente sabe-que-não-sabe, portanto persegue informações que sabe que existem, embora ele não as domine. Um conhecimento prévio muito particular. Pressupõe a participação em redes internacionais de conhecimento

Essa situação sugere um caso adicional para o paradoxo inicial: não-saber-que-não-sabe. A evidência histórica nesse ponto é o processo do encontro da China com a revolução industrial inglesa: a China não-sabia-que-não-sabia. Segundo Teng e Fairbank (1979, p. 21), com a marinha britânica "already been exhibited on the coast of China,, the Chinese officials of the 1840's seem to have been profoundly ignorant of what they faced".

A segunda função é contribuir para a avaliação, a escolha e a seleção de tecnologias existentes. Essa função já está presente no esquema de Cohen e Levinthal (1989, p. 569). Para um processo de catch up, essa função seria mais complicada do que para as firmas analisadas no Yale Survey, porque nesse caso seria importante uma criteriosa análise do estado do conhecimento prévio acumulado pelo sistema de inovação local, envolvendo um balanço do estado das firmas e instituições de pesquisa locais. Uma pergunta importante aqui seria qual a capacidade de absorção existente e que tecnologias essa capacidade instalada é capaz de assimilar. Essa avaliação é essencial para evitar erros, em especial na escolha de tecnologias que teriam um grau de complicação, de base científica e exigência tecnológica muito acima do acumulado pela região candidata a absorver novas tecnologias.

A terceira fase, posterior à seleção, envolve o conjunto do processo de assimilação da tecnologia, com sua decomposição em termos de investimentos prévios em conhecimento, engenharia reversa, importação, contratação de pessoal especializado etc dependente da natureza específica da tecnologia a ser absorvida. Nessa fase a necessidade de adaptação da tecnologia a um novo ambiente - diferente dotação de fatores, mercado consumidor com características específicas, geografia e condições climáticas etc - devem exigir a continuidade do processo de criação, a implementação de inovações incrementais para garantir essa adaptação - solução de problemas não previstos, típicos de um processo inovativo, altamente pessoal e específico à instituição que absorve, carregado de elementos tácitos. Nessa fase, a combinação entre aprendizado e inovação, combinação constitutiva da capacidade de absorção começa a se alterar, cobrando mais capacidade inovativa mesmo durante o processo de absorção.

A quarta fase, de exploração da tecnologia absorvida consolida o processo de catch up, ao permitir um salto inicial para a região que absorve a tecnologia. Dada a ampliação do estoque de conhecimento local, agora é possível buscar tecnologias mais avançadas em próximas rodadas de

absorção. Dada a mudança da interação no par aprendizado-inovação, a região se torna mais inovativa, ampliando os feedbacks positivos dos vários processos de aprendizado - learning by doing, learning by using, learning by interacting etc -, com subsequente fortalecimento de processos endógenos de geração de tecnologias.

No caso de países atrasados não se deve subestimar em especial o crescimento do estoque de tecnologias disponíveis que oferecem novas fontes para o aprendizado científico, como sugere M. Polanyi (1958. p. 52 e p. 179). Esse tipo de relação pode ser visto com um dos feedbacks positivos mais importantes para a interação entre ciência e tecnologia ao longo dos processos de desenvolvimento, que reconfigura o papel da infra-estrutura científica que foi crucial para a primeira fase desse conjunto, o mapeamento. Possivelmente, a infra-estrutura científica assume novas funções nos processos de absorção de conhecimento, porque o papel do aprendizado muda. Afinal, ao saber mais é possível aprender melhor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARORA, A.; GAMBARDELLA, A. (1994) Evaluating technological information and utilizing it: scientific knowledge, technological capability, and external links in biotechnology. *Journal of Economic Behavior and Organization*, v. 24, pp. 91-114.
- ARORA, A.; GAMBARDELLA, A. (2010) The Market for technology. In: Hall, Bronwyn H. and Rosenberg, Nathan (eds) *Handbook of the Economics of Innovation*. Volume I. Amsterdam: North Holland, pp. 641-675.
- ARROW, K. (1974) *The limits of organization*. New York/London: W. W. Norton & Company.
- BRESNAHAN, T. (2010) General purpose technologies. In: HALL, B.; ROSENBERG, N. (eds) *Handbook of the economics of innovation*. Volume II. Amsterdam: North Holland, pp. 761-791.
- COHEN, W.; LEVINTHAL, D. (1989) Innovation and Learning: the two faces of R&D, *The Economic Journal*, v. 99, n. 397, September: pp. 569-596.
- COHEN, W.; LEVINTHAL, D. (1990). Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, v. 35, pp. 128-152
- COWAN, R.; DAVID, P. A.; FORAY, D. (2000) The explicit economics of knowledge codification and tacitness. *Industrial and Corporate Change*, v. 9, n. 2, pp. 211-253.
- DOSI, G. (1984) *Technical change and industrial transformation*. London: Palgrave Macmillan.
- EVENSON, R. E. (2005) The green revolution and the gene revolution in Pakistan: policy implications. *The Pakistan Development Review*, v. 44, n. 4, pp. 359-386.
- EVENSON, R. E.; GOLLIN, D. (2003) Assessing the impact of the green revolution, 1960 to 2000. *Science*, v. 300, 2 May, pp. 758-762.
- EVENSON, R. E.; KISLEV, Y. (1973) Research and productivity in wheat and maize. *Journal of Political Economy*, v. 81, n. 6, pp. 1309-1329.
- FAIRBANK, J. (1978) Self-strengthening: the pursuit of Western technology. In: FAIRBANK, J. (ed) *The Cambridge History of China*. Volume 10. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 491-542
- GERSCHENKRON, A. (1952). *Economic backwardness in historical perspective*. Cambridge: Harvard University, 1962.
- GREENSTEIN, S. (2015) *How the internet became commercial: innovation, privatization and the birth of a new network*. Princeton: Princeton University Press.
- JOHNSON, B.; LORENZ, E.; LUNDVALL, B-A (2002) Why all this fuss about codified and tacit knowledge? *Industrial and Corporate Change*, v. 11, n. 2, pp. 211-253.
- KIM, L. (1997) *Da imitação à inovação: a dinâmica do aprendizado tecnológico da Coreia*. Campinas: Editora da Unicamp (2005).

- KONDRATIEV, N. D. (1926b) Long cycles of economic conjuncture. In: *The works of Nikolai D. Kondratiev*. Edited by N. Makasheva, Samuels, W.; Barnett. London: Pickering and Chato (1998), pp. 25-60.
- KUHN, T. (1962) *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Editora Perspectiva (1990)
- LALAND, K. (2017) *Darwin's unfinished symphony: how culture made the human mind*. Princeton: Princeton University Press.
- LEVIN, R.; KLEVORICK, A.; NELSON, R.; WINTER, S. (1987) Appropriating the returns from industrial research and development. *Brookings papers on economic activity*. Washington, v. 3, p. 783-832.
- LUNDVALL, B-A (2016) *The learning economy and the economics of hope*. London/New York: Anthem Press.
- MARX, K. (1867) *O Capital*. Volume I. São Paulo: Abril Cultural, 1984.
- MAZZOLENI, R., NELSON, R. (2007). Public research institutions and economic catch-up. *Research Policy*, v. 36, n. 10, pp. 1512–1528.
- NELSON, R. (ed.) (1993) *National innovation systems: a comparative analysis*. New York, Oxford: Oxford University.
- NELSON, R.; WINTER, S. (2002) Evolutionary theorizing in economics. *Journal of Economic Perspectives*, v. 16, n. 2, pp. 23-46.
- NELSON, R.R., WINTER, S.G. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press.
- OECD (2016) *OECD Science, Technology and Industry Outlook 2016*. Paris: OECD Publishing. (disponível em http://dx.doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-en).
- OHKAWA, K; KOHAMA, H. *Lectures on developing economics: Japan's experience and its relevance*. Tokyo: University of Tokyo, 1989.
- PAVITT, K. (1991) What makes basic research economically useful? *Research Policy*, v. 20, n. 2, pp. 109-119.
- PEREZ, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, v. 34, n. 1, p. 185-202, 2010.
- POLANYI, M. (1958) *Personal knowledge: towards a post-critical philosophy*. London: Routledge (corrected edition, 1962; reprinted 2002).
- POLANYI, M. (1966) *The tacit dimension*. Chicago: The University of Chicago Press (2009).
- POLANYI, M. (1962) The Republic of Science: its political and economic theory. *Minerva*, v. 1, n. 1, pp. 54-73.
- QUEIROZ, S. (2006) Aprendizado tecnológico. In: PELAEZ, V.; SZMERECSÁNYI, T. (orgs) *Economia da inovação tecnológica*. São Paulo: Editora Hucitec, pp. 193-211.
- ROSENBERG, N. (1976) *Perspectives of Technology*. Cambridge: Cambridge University Press.

- ROSENBERG, N. (1982) *Inside the black box: technology and economics*. Cambridge: Cambridge University.
- ROSENBERG, N. (1990). Why do firms do basic research (with their money)? *Research Policy*, v. 19, pp.165-174.
- ROSENBERG, N.; STEINMUELLER, E. (1988) Why are Americans such poor imitators? *American Economic Review*, v. 78, n. 2, pp. 229-234.
- SCHERER, F.; ROSS, D. (1990) *Industrial market structure and economic performance*. Boston: Houghton Mifflin, 1990.
- SCHUMPETER, J. (1911) *A teoria do desenvolvimento econômico*. São Paulo: Nova Cultural, 1985.
- TEECE, D. (1977) Technology transfer by multinational firms: the resource cost of transferring technological know-how. *Economic Journal*, v. 8, n. 346, pp. 242-261.
- TEIXEIRA, A. L. S. (2019) Determinantes organizacionais e especificidades da capacidade de absorção de firmas no Brasil. Belo Horizonte: Cedeplar-UFMG (Tese de Doutorado).
- TENG, S.; FAIRBANK, J. (1979) *China's response to the West - a documentary survey, 1839-1923*, with a new preface. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- VIOTTI, E. (2002) National Learning Systems: A new approach on technological change in late industrializing economies and evidences from the cases of Brazil and South Korea. *Technological Forecasting & Social Change*, v. 69, pp. 653-680.