

Aprendizado Tecnológico:
Capacidade de Absorção, Conhecimento e Processos de *Catching Up*

Absorption capacity, knowledge and catch-up processes

Eduardo da Motta e Albuquerque¹



Resumo: Revoluções tecnológicas se sucedem e reconfiguram o sistema capitalista global. A propagação de novas tecnologias pode se dar segundo uma lógica expansionista inerente ao sistema ou por 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. Nas considerações finais sugere-se que as iniciativas na periferia devem combinar quatro fases: mapeamento, escolha, assimilação e consolidação — a fase em que processos de feedbacks positivos surgem.

Palavras-chave: Aprendizado. Capacidade de absorção. Conhecimento tácito. *Catching up*.

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. In the final considerations, it is suggested that initiatives in the periphery must combine four phases: mapping, choice, assimilation and consolidation — the phase in which positive feedback processes emerge.

Keywords: Learning. Absorption capacity. Tacit knowledge. *Catching up*.

JEL Classification: O30.

¹ Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Faculdade de Ciências Econômicas (FACE), Departamento de Ciências Econômicas, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Processos de *catching up* baseiam-se na construção de capacidade de absorção, o que define o papel central da construção de sistemas de inovação na periferia — instituições para o desenvolvimento de capacidade de absorção. Essa definição ressalta a importância da discussão relacionada à capacidade de absorção e tipos de conhecimento — absorção de conhecimentos de diferentes tipos implica em diferentes esforços e diferentes arranjos institucionais. Este artigo busca articular esses três temas amplamente tratados na literatura da economia da inovação: tipos de conhecimento, capacidade de absorção e processos de *catching up*. A contribuição deste artigo é essa articulação, com uma preocupação especial nas implicações para políticas públicas — construção de sistemas de inovação na periferia — quando esses três elementos são considerados conjuntamente. O fio condutor dessa articulação é a elaboração de Michael Polanyi sobre a natureza do conhecimento, para enfatizar a presença do elemento tácito e suas implicações no papel de instituições relacionadas ao conhecimento científico na articulação entre capacidades de absorção e processos de *catching up*.

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 por meio da lógica expansionista inerente ao sistema, a partir de forças contidas no(s) seu(s) centro(s) dinâmico(s); e a segunda por meio 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 os processos, seja no processo em que os elementos ativos estão apenas no centro, seja no processo em que 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, 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, da Alemanha e do Japão até os casos da Coreia do Sul e de Taiwan (ROSENBERG, 1982; GERSCHENKRON, 1962; OKAWA; KOHAMA, 1989; NELSON, 1993; KIM, 1997).

O destaque para o aprendizado nos processos de propagação das revoluções tecnológicas é decorrente da elaboração de Rosenberg (1976, p. 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 (ROSENBERG, 1972, p. 60).

Rosenberg (1976) 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, 1982, p. 59-86; 1976, p. 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 general-purpose technologies (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, ao longo do tempo, envolve o crescimento do conteúdo científico das novas tecnologias, 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 a partir do centro inovador. Esse esforço pode ser sintetizado no conceito de capacidade de absorção (COHEN; LEVINTHAL, 1989; 1990). Como Cohen e Levinthal (1989) explicitam, capacidade de absorção envolve inovação e aprendizado, dois aspectos interligados no processo tecnológico mesmo de firmas em países desenvolvidos.

A questão do aprendizado conecta os três tópicos que este artigo busca integrar: tipos de conhecimento, capacidade de absorção e processos de *catching up*. Assim, aprendizado tecnológico é interpretado como um elemento estratégico

para a propagação de revoluções tecnológicas pelo conjunto do sistema, em especial para a periferia do sistema. A segunda seção resenha o significado de aprendizado, já lidando com a contribuição de Polanyi. A terceira seção resenha o significado de capacidade de absorção a partir da elaboração de Cohen e Levinthal. A quarta seção busca articular a natureza do conhecimento e a capacidade de absorção, em especial resgatando o peso da dimensão tácita nos diferentes tipos de conhecimento. A quinta seção busca integrar as três questões por meio de uma discussão de diferentes fases no processo de assimilação de tecnologias que fundamentam o processo de *catching up*, trazendo elementos para uma compreensão do papel do aprendizado e das suas mutações ao longo dos processos de *catching up*. Considerações finais concluem o artigo.

2 APRENDIZADO

Para Polanyi (1958, p. 71), aprendizado é um sinal de inteligência. 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 (2017), em seu capítulo onze, dedicado às bases da cooperação, sociedades humanas complexas estão relacionadas à cooperação, que, por sua vez, dependem da capacidade de ensinar: “[...] human 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.” (LALAND, 2017, p. 266). Nessa obra, a inovação, essa atividade que explode com a nossa espécie, tem um papel estratégico associado com a inauguração de diversos *feedbacks* positivos, como 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.² Essa talvez seja uma forma de sintetizar o significado da curva de aprendizado. Scherer e Ross (1990, p. 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. (SCHERER; ROSS, 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), que entrevistou 650 indivíduos representando 130 linhas de negócios em 45 setores industriais (LEVIN *et al.*, 1987, p. 790-791). Segundo o Yale Survey (LEVIN *et al.*, 1987), 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

² Há um caso que poderia ser o oposto desse: 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 [...]”.

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 (LEVIN *et al.*, 1987) expressa a importância do aprendizado em geral na dinâmica competitiva, ao investigar os canais principais desse aprendizado: esses canais são diversos, com destaque para a engenharia reversa, um sinônimo para a cópia, para a imitação, e 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 pesquisa e desenvolvimento (P&D) de outras firmas e contratação de profissionais da firma inovativa (LEVIN *et al.*, 1987, p. 806). Um resultado importante do Yale Survey (LEVIN *et al.*, 1987) 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 aprende, e quem quer aprender investe em P&D — processo gerador de conhecimento. Essa investigação está na origem do conceito de capacidade de absorção, definido como “[...] the ability to make use of technology developed by others.” (LEVIN *et al.* (1987, p. 806).³ 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 (1989), 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, p. 194-197) revisa esse vasto conjunto, discutindo as diversas contribuições disponíveis na literatura sobre as várias dimensões desses processos: *learning-by-doing*, *learning-by-using*, *learning-by-interacting*, aprendizado adaptativo, além de processos como *learning-by-hiring*, *learning-by-training* e *learning-by-researching* (QUEIROZ, 2006, p. 196). Polanyi (1958, p. 53) discute o processo de aprendizado por exemplo (*learn by*

³ É importante ressaltar que o trabalho de Cohen e Levinthal é citado aqui em uma versão preliminar.

example), importante tanto para as atividades científicas quanto para as atividades tecnológicas.

Talvez a elaboração mais completa sobre a importância do aprendizado na economia está na obra de Lundvall, sintetizada no livro *The learning economy and the economics of hope* (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:

[...] in 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, 2016 p. 110).

Lundvall (2016) elabora uma transição para a economia do aprendizado, com inúmeras referências à importância do tema. Afinal, como Queiroz (2006, p. 195) ressalta, o próprio Lundvall já era uma referência para a explicitação do papel do *learning-by-interacting* na literatura de inovação.

Tanto a elaboração de Levin *et al.* (1978) como a 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, o 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. Em vez 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 (2002) 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 *catching 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” (ROSENBERG, 1972, p. 61). Mais recentemente o processo de *catching up* coreano foi descrito por Linsu Kim em seu livro intitulado *Da imitação para a inovação: a dinâmica do aprendizado tecnológico da Coreia* (1997).

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.

3 CAPACIDADE DE ABSORÇÃO

Teixeira (2019) apresenta uma boa síntese das origens teóricas do conceito elaborado por Cohen e Levinthal (1989), combinando uma avaliação dos contextos de crítica a “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).

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 (1989, p. 569) colocam a capacidade de absorção como sinônimo de aprendizado. No entanto, trata-se de uma dimensão particular do aprendizado. Nos processos de *learning-by-doing*, os autores argumentam que 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 [...]” (COHEN; LEVINTHAL, 1989, p. 570).

Como já indicado por Levin *et al.* (1978, p. 806), atividade de P&D desenvolvida por uma firma é o método de aprendizado mais eficiente segundo o Yale Survey (LEVIN *et al.*, 1987). Cohen e Levinthal (1989, p. 569) explicitam que o P&D interno desenvolve a habilidade da firma de “[...] identify, assimilate and exploit knowledge from the environment.”. 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.” (COHEN; LEVINTHAL, 1989, p. 570). O processo é tão articulado, que os autores 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 cresce aceleradamente. No entanto, 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.

Cohen e Levinthal (1989, p. 570) sugerem que esses investimentos são substanciais, que a maior parcela desses custos relaciona-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 [...]”. 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 (1989, p. 570) articulam os incentivos para o aprendizado com “[...] the quantity of knowledge to be assimilated [...]” e com “[...] the ease with which learning may occur.”.

Baseados no Yale Survey,⁴ a partir de uma amostra com 1.719 unidades de 318 firmas em 151 linhas de negócios nos Estados Unidos, Cohen e Levinthal

⁴ Informações sobre o Yale Survey encontram-se em Levin *et al.* (1978, p. 788-793).

(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.” (COHEN; LEVINTHAL, 1989, p. 593).

Explicitar o contexto do Yale Survey é importante para um esforço de construção de uma microeconomia do processo de *catching up*: é necessário elaborar, por um lado, o papel da capacidade de absorção em processos de desenvolvimento — uma dimensão regional, que inclui a periferia do sistema capitalista global — e, por outro lado, as mudanças que ocorreram nesse sistema após a década de 1980.

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 [...].” (COHEN; LEVINTHAL, 1990, p. 128). Há também referências preciosas quanto à transferência internacional de tecnologia agrícola (COHEN; LEVINTHAL, 1989, p. 569) e processos nacionais de desenvolvimento (COHEN; LEVINTHAL, 1990, p. 128).

Evenson e Kislev (1973) são os autores citados por Cohen e Levinthal (1989), em uma referência na qual ressaltam que “[...] international transfer of agricultural technology depends, in part, upon recipients' own research efforts [...].” (COHEN; LEVINTHAL, 1989, p. 569, nota 1). Evenson e Kislev (1973) investigam conhecimentos gerados pela 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.” (EVENSON, KISLEV, 1973, p. 1310).⁵

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 [...]”. (EVENSON; KISLEV, 1973, p. 1324). Posteriormente Evenson e Gollin (2003) indicam o papel complementar entre centros de pesquisa internacionais e sistemas nacionais de pesquisa agrícola — na medida em que “[...] diffusion patterns reflect the importance of location-specific breeding [...]” (Ibid., p. 759), os autores destacam o papel de “second-stage research” (Ibid., p. 759), desenvolvida por centros locais, para lidar com a adaptação local. Evenson (2005, p. 365) investiga as bases institucionais da difusão dessas tecnologias, com uma base de dados que permite identificar que a revolução verde não se difundiu por doze países. Nesses países, observa Evenson (2005, p. 368), “[n]one had universities to train agricultural scientists [...]”. Essa observação do autor 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 investigadas por Evenson lida com tecnologias não submetidas à propriedade intelectual, com tecnologias produzidas para serem difundidas o mais amplamente possível.⁶ Por essa característica, diversos estudos (EVENSON; KISLEV, 1973; EVENSON; GOLLIN, 2003; EVENSON, 2005) 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

⁵ Em diálogo com o que será discutido na seção III, pode-se afirmar que Evenson e Kislev (1973) tratam de conhecimento codificado, conhecimento desenvolvido pela comunidade científica e devidamente codificado em artigos e documentos.

⁶ Como Evenson e Kislev (1973, p. 1309) mencionam, o Prêmio Nobel da Paz de 1970 foi atribuído a Norman F. Blaug. Segundo a Comissão do Prêmio Nobel, “The expression ‘the green revolution’ is permanently linked to Norman Borlaug's name.” (THE NOBEL PRIZE, 2023, on-line).

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.⁷

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 citações aos trabalhos de Rosenberg e Steinmueller (1988) e Mansfield (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 *catching up*. É importante lembrar que na década de 1980 o Japão era uma importante referência para estudos de tecnologia, constituindo-se inclusive em uma referência para o início das elaborações do conceito de sistema de inovação (Freeman, 1987). Na conclusão do trabalho de Mansfield (1988, p. 228), encontra-se uma clara elaboração que associa os gastos com P&D com capacidade de aprendizado: “[...]. apparently, 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 *catching 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, p. 1514) 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. Para os autores, essa mudança implica na ampliação da importância de “[...] indigenous technological and scientific capabilities.” (MAZZOLENI; NELSON, 2007, p. 1515). Por outro lado, outras

⁷ 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 (1976, p. 168), a tecnologia industrial “[...] is nevertheless much easier to transfer than agricultural technology”.

mudanças importantes relacionam-se com novas possibilidades de aprendizado, pois “[...] university-mediated transnational conduits of learning will be of particularly great importance during the 21st Century for countries seeking to catch-up.” (MAZZOLENI; NELSON, p. 1514) — novos canais para 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 (1989). Três elementos foram ressaltados como contribuições do P&D interno para as atividades inovativas: a habilidade de "identificar, assimilar e explorar conhecimento do ambiente" (COHEN; LEVINTHAL, 1989, p. 569). Os textos de Rosenberg e Steinmueller (1988) e de Mansfield (1988) centram a avaliação na capacidade de assimilar e explorar o conhecimento externo, pois lidam com o Japão do final do processo de *catching 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; 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 a “*ability to evaluate*”, distinta da “*ability to utilize*”, como dois aspectos da capacidade de absorção (ARORA; GAMBARDELA, 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 sobre 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 os 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 no 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).⁸

A maior proximidade geográfica e tecnológica da Europa Ocidental em relação à Inglaterra da revolução industrial — o menor atraso relativo, na elaboração de Gerschenkron (1962) —, 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

⁸ 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, cap. 7).

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 (1976).

4 NATUREZA DO CONHECIMENTO E CAPACIDADE DE ABSORÇÃO

A natureza do conhecimento está fortemente relacionada com a facilidade do aprendizado, um dos elementos importantes no modelo de Cohen e Levinthal (1989). Há uma vasta literatura sobre a dicotomia entre o conhecimento codificado e o tácito, na qual o debate entre Cowan, David e Foray (2000) e Johnson, Lorenz e Lundvall (2002) é ilustrativo. Essa literatura se inspira em Polanyi (1958; 1966) e sua elaboração sobre a dimensão tácita na atividade científica, elemento incorporado por Kuhn (1962, p. 44; p. 190).

Porém, a articulação entre esses dois elementos — capacidade de absorção e natureza do conhecimento — é pouco explorada explicitamente. Cohen e Levinthal (1989; 1990) não discutem Polanyi, enquanto nos debates mais importantes sobre o conhecimento tácito e codificado, Cowan, David e Foray (2000), Johnson, Lorenz e Lundvall (2002) e Jensen *et al.* (2007) não mencionam capacidade de absorção.⁹

A elaboração de Polanyi discrimina diferentes tipos de conhecimento - técnico x científico (1958, p. 331), "articulate" e "inarticulate" ou "unspecifiable knowledge" (POLANYI, 1958, p. 53), "pure" e "applicable" (POLANYI, 1958, p. 175), na discussão geral sobre o conhecimento tácito. Além de importante para a compreensão das diferenças entre o que deve ser absorvido, a elaboração de Polanyi (1958) ganha atualidade pela sua contribuição em discussões sobre o horizonte e os limites da inteligência artificial, na medida 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* (1966), para discutir esses limites para o

⁹ Em Johnson, Lorenz e Lundvall (2002, p. 252), há uma referência passageira a Cohen e Levinthal (1990), como base para uma crítica à abordagem neoclássica e sua interpretação de *spill-overs*, ou seja, não é uma discussão sobre capacidade de absorção.

desenvolvimento da inteligência artificial e da robótica. Essa discussão renova a importância das contribuições de Polanyi para o nosso tema.¹⁰

A introdução do papel do conhecimento tácito na literatura de economia da inovação, segundo Cowan, David e Foray (2000), deve-se a Nelson e Winter (1982), que utilizam esse conceito em diversas passagens¹¹ 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, p. 76) são explícitos quanto a esse aspecto da elaboração de Polanyi: “[...] it provides a useful perspective on other realms of knowledge – in his case, that of scientific knowledge; in ours, that of organizational capability..”

Esse diálogo proposto por Nelson e Winter (1982) com a elaboração de 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 tecnológico, é importante tratar da dimensão tácita nos dois tipos de conhecimento.

Polanyi (1958, p. 174-184) discute as diferenças entre ciência e tecnologia, associando-as a diferentes formas de aprendizado. O objetivo principal do autor 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 (POLANYI, 1958, p. 125).

A questão do aprendizado é central na elaboração de Polanyi. Certamente, a questão do aprendizado desenvolveu-se muito desde a redação dos seus livros - os elementos cognitivos discutidos por Cohen e Levinthal (1990, seção II.1) e o papel do aprendizado e do ensino no desenvolvimento do cérebro humano, apresentada por Laland (2017) são exemplos desses avanços. Polanyi, especialmente no livro *Personal knowledge: towards a post-critical philosophy* (1958), apoia-se em pesquisas disponíveis sobre aprendizado em animais e em

¹⁰ Ver Polanyi (1958, p. 176, 261, 262).

¹¹ Ver Nelson e Winter (1982, p. 76, 119, 391).

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 (POLANYI, 1958, p. 76). Desses elementos, Polanyi (1958, p. 184) apresenta características distintivas das ciências naturais, da tecnologia e das matemáticas.

O ponto de partida de Polanyi (1958, p. 71) é uma análise de “[...] inarticulate manifestations of intelligence in animals and children [...]”. Três modos de aprendizado são apresentados: *trick learning*, *sign-learning* e *latent learning* (POLANYI, 1958, p. 71-73). 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 [...]” (POLANYI, 1958, p. 76). Embora “[...] the animal possesses each of these three faculties, he cannot combine them [...]” (POLANYI, 1958, p. 82). Nesse ponto, o autor cita Piaget e afirma que “[...] it is this intelligence which the infant begins to develop as he begins to speak [...].” (POLANYI, 1958, 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 [...].” (POLANYI, 1958, p. 76). Completando um encadeamento a partir dos três modos de aprendizado, Polanyi (1958) associa a invenção às atividades de engenharia e tecnologia, a observação às ciências naturais e a interpretação às matemáticas).

A discussão de Polanyi sobre as relações entre ciência e tecnologia foi realizada em uma fase na qual a dependência da tecnologia em relação à ciência embora importante ainda era limitada.

Para Polanyi (1958, p. 174), “[...] technology 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, Polanyi (1958) 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. (POLANYI, 1958, p. 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. [...]” (POLANYI, 1958, 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 (POLANYI, 1958, p. 176-177). Porém, essa distinção é compatível com domínios que formam uma transição entre elas, explicitando uma inter-relação entre ciência e tecnologia: “[...]to 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 [...].” (POLANYI, 1958, p. 179).¹² Prosseguindo sua análise, Polanyi (1958, p. 179) 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”.

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 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

¹² Essas observações de Polanyi (1958) antecipam elementos da elaboração de Rosenberg (1982) sobre “quão exógena é a ciência”.

use it [...]” (POLANYI, 1966, p. 17). Para Polanyi (1966), 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: “[...]the 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). 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 [...]”. Em outras áreas científicas como química, biologia e medicina, há forte dependência na "transmission of skills and connoisseurship from master to apprentice" (POLANYI, 1966, p. 55).

A elaboração de Polanyi (1958, 1966) 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 e instrumentos gerados pela 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.

Especial destaque merece a discussão sobre os diferentes modos de aprendizado, que se articulam com diferentes formas de conhecimento. Jensen *et al.* (2007, p. 680) apresentam dois modos diferentes de aprendizado: “mode of learning through Doing, Using and Interacting (DUI-mode)” e o “Science, Technology and Innovation (STI) mode”. Esses diferentes modos de aprendizado na discussão de Lundvall (2016) 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 (2016) enfatiza o papel do conhecimento codificado para o STI-mode (LUNDVALL, 2016, p. 680) e outras formas de aprendizado no DUI-mode (LUNDVALL, 2016, p. 683-684). Mas, Jensen *et al.*

(2007) relembram da presença de elementos tácitos no conhecimento científico, contribuindo para quebrar uma vinculação simplista entre o tácito e o não codificado.

A discussão de Arrow (1974) sobre custos da informação, relida após esse diálogo com Polanyi (1966), indica como esses elementos podem se articular. Ao discutir o acesso à informação — interpretada como conhecimento codificado e livremente acessível, como em um artigo científico —, Arrow (1974) lista os custos específicos para a absorção daquele conhecimento. Longe de ser gratuito, essa absorção pressupõe investimentos específicos de infraestrutura (biblioteca, meios de comunicação) e investimentos na pessoa que absorverá esse conhecimento (formação, educação, experiência). A ilustração apresentada pelo autor 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 (1974). Embora os conhecimentos da revolução verde estejam codificados, disponíveis publicamente, a sua difusão pressupõe investimentos em universidades e/ou instituições de pesquisa que empreguem cientistas que possam transferir esses conhecimentos para a agricultura local — elementos tácitos essenciais na prática científica necessária para assimilar aquele conhecimento exigem a criação de instituições para cuidar dessa dimensão do aprendizado. Trata-se também, de um caso de interação entre universidades e agricultores, um caso específico de interação entre instituições de pesquisa e a sociedade, para além de empresas.

A elaboração de Polanyi (1966), dessa forma, esclarece a complexidade do processo de aprendizado, pois mesmo a absorção e transferência de conhecimento codificado pressupõe investimentos substanciais. Para Polanyi (1966, p. 53), há uma “*unespecifiable art of scientific research*”, de penetração muito mais difícil pelas diversas regiões do planeta. Nessa passagem, talvez de forma não

intencional, o autor alerta para problemas relativos à absorção de conhecimentos científicos, codificados, em países sem grande tradição histórica de pesquisa. Segundo Polanyi (1966, p. 53, grifo do autor), “[...] while *the articulate contents of science* are successfully taught all over the world in hundreds of new universities, *the unespecifiable art of scientific research* has not penetrated to many of these.” Essa associação entre o conhecimento científico, mais precisamente a pesquisa básica, e a dimensão tácita é explícita no capítulo 1 de *The tacit dimension* (1966), intitulado “Tacit Knowing”. Trata-se de um capítulo sobre ciência, provocado, segundo Polanyi, por uma declaração de Bukharin que criticava “[...] the conception of science pursued for its own sake.” (POLANYI, 1966, p. 3).

Por isso, 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 *catching up* (MAZZOLENI; NELSON, 2007). O alerta de Polanyi (1966) sobre as dificuldades relativas a *unespecifiable art of scientific research* demandam uma especial atenção à construção de universidades e institutos de pesquisa em países periféricos, dado o enorme atraso em termos de construção de tradições de pesquisa. Porque se já é difícil a construção e a manutenção de universidades e institutos de pesquisa em países periféricos, Polanyi destaca enormes problemas relativos à qualidade e capacitação científicas que estão além do contato com livros e textos. Essa experiência e essa arte na pesquisa científica pressupõem contatos sistemáticos e intensos com centros mais avançados, o que amplia o papel das universidades na periferia como antenas para buscar o conhecimento em países centrais — sedes de revoluções tecnológicas e de novas GPTs — e como centros que devam gerar essa capacidade derivada de elementos fortemente tácitos, que é a capacidade de pesquisa. Essa capacidade, ressalte-se, de difícil construção dado o peso dos elementos tácitos, deve ainda ser colocada à disposição da sociedade, inclusive sob a forma de recursos humanos que só podem ser gerados dessa forma. Nesse sentido, os elementos tácitos na formação de pessoal de P&D foram enfatizados por Pavitt (1991), para quem 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. (PAVITT, 1991, p. 114).

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 *catching up*.

5 PROCESSOS DE *CATCHING UP* E APRENDIZADO

A natureza do conhecimento afeta os requisitos para a formação da capacidade de absorção. O diálogo entre as elaborações de Polanyi (1958, 1966) e de Cohen e Levinthal (1989; 1990) contribui incluir em todos os tipos de conhecimento a necessidade de enormes esforços de absorção, dependentes da entidade que imita/copia a inovação gerada externamente, seja essa entidade um país, uma região ou uma organização (firma ou universidade). O mecanismo da absorção é o aprendizado. E aprendizado é fundamental, seja no conhecimento codificado, seja no conhecimento não codificado, porque a dimensão tácita é decisiva para a absorção do conhecimento codificado também, como demonstra reiteradamente Polanyi.

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). A natureza do conhecimento acumulado inclui elementos tecnológicos baseados em conhecimentos tácitos, elementos científicos fortemente dependentes da dimensão tácita, acumulados em pessoas, organizações (firmas e universidades) e 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 atrasado 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 disponibilizado 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, p. 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; 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 *catching 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 dada a 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 tecnologia ampliam os canais por meio dos quais países atrasados podem acessar o estoque de conhecimento disponível.

Esses desafios e oportunidades estabelecem demandas particulares para a construção e o aperfeiçoamento de sistemas de inovação na periferia, na medida em que esses arranjos institucionais têm, fundamentalmente, a função de estabelecer e fortalecer a capacidade de absorção da economia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como articular essas três questões (capacidade de absorção, tipos de conhecimento e processos de *catching up*) em um processo dinâmico? O processo de absorção de novas tecnologias geradas por novas revoluções tecnológicas pode ser decomposto em quatro fases, cada uma delas com importantes problemas institucionais.

A primeira fase é mapear tecnologias existentes, acompanhar desenvolvimentos científicos e tecnológicos, para conhecer a estrutura do estoque de conhecimentos disponível. 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, que atualmente pressupõe a participação em redes internacionais de conhecimento. Esse mapeamento deve ser fruto de certo planejamento, por instituições como governos (nacionais ou regionais), universidades, firmas ou outras organizações (como hospitais, por exemplo). Com isso, depara-se com problemas institucionais não triviais, pois essas instituições devem estar presentes, se possível com alguma experiência acumulada. A formação de estados nacionais em países com passado colonial é um pressuposto de um governo que tenha metas como industrializar o país. Por isso, processos iniciais de formação de instituições de pesquisa e universidades, assim como inícios de políticas de criação de empresas no país são, em geral, posteriores a processos políticos de independência nacional. A existência

de firmas ativas certamente contribui para essa fase — e aqui há evidências de que uma estrutura produtiva mais sofisticada e diversificada contribui para a capacidade de absorção já nessa fase de mapeamento. A existência de universidades com alguma articulação internacional é também uma estrutura que contribui para identificar esses novos conhecimentos.

Uma vez mapeadas as tecnologias disponíveis (agora o país sabe o que não sabe), a segunda fase é contribuir para a avaliação, a escolha e a seleção de tecnologias mapeadas. Essa função já está presente no esquema de Cohen e Levinthal (1989, p. 569). Para um país ou região relativamente atrasada, periférica, em busca de um processo de *catching 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. Uma vez reconhecidas essas limitações, políticas de médio prazo podem ser preparadas para o desenvolvimento no interior do país, instituição ou firma de conhecimentos necessários para a assimilação dessas tecnologias, assimilação que pode se transformar em meta a ser cumprida após esforços específicos e investimentos dirigidos. Esse tipo de postura transforma o leque de tecnologias passíveis de seleção em alvos de processos que mudam as condições iniciais, rompendo, ao menos de forma limitada, a dependência das condições iniciais ou herdadas, quando elas forem excessivamente restritivas.

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.) deve 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. Esses elementos tácitos, que implicam condições muito especiais de aprendizado, importantes para tecnologias industriais e para conhecimentos científicos dependentes de uma “unspecifiable art of scientific research” (POLANYI, 1958, p. 53), exigem investimentos especiais na formação de pessoal: viagens ao exterior, cursos com cientistas competentes em universidades estrangeiras, atração de talentos de outros países etc. Os dois tipos de conhecimentos distinguidos por Jensen *et al.* (2007) – STI e DIU – exigem a consciência desse elemento tácito, insubstituível, nas duas dimensões, uma lembrança da inexistência de difusão automática ou sem esforço. O que essa literatura permite é a definição mais precisa do tipo de esforço que deve ser implementado, do tipo de instituição que deve ser construído. Nessa fase de assimilação de tecnologias, a interação entre diversos tipos de instituições – componentes do arranjo institucional que é um sistema de inovação – explicita elementos dinâmicos. Universidades e seus cientistas, com o conhecimento tácito sobre como pesquisar, podem constituir um canal de transmissão de conhecimentos tecnológicos dependentes da ciência para firmas – explicita-se aqui um aspecto específico da interação universidade-empresa em países em processo de *catching up*. A interação universidade-empresa, contatos carregados de elementos tácitos detidos por uma e outra instituição, é um mecanismo para a absorção de tecnologias dados limites iniciais das firmas locais. 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 *catching up* ao permitir um salto inicial para a região ou setor que absorve a tecnologia. Aqui talvez possa ser estabelecido um processo de *feedback* positivo, pois, à medida que a capacidade de absorção assimile uma nova tecnologia, os

aperfeiçoamentos na estrutura produtiva e na estrutura universitária/científica melhoram as condições para mapeamento, seleção e assimilação de tecnologias, permitindo novos saltos no processo geral de *catching up*. Além disso, 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 ofereçam novas fontes para o aprendizado científico, como sugere Polanyi (1958, p. 52, 179). Esse tipo de relação pode ser visto como um dos *feedbacks* positivos mais importantes para a interação entre ciência e tecnologia ao longo dos processos de desenvolvimento. Essa interação bem-sucedida reconfigura o papel da infraestrutura científica que foi crucial para a primeira fase desse conjunto, o mapeamento. Possivelmente, a infraestrutura 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

- ARORA, A.; GAMBARDELLA, A. Evaluating technological information and utilizing it: scientific knowledge, technological capability, and external links in biotechnology. *Journal of Economic Behavior and Organization*, v. 24, p. 91-114, 1994.
- ARORA, A.; GAMBARDELLA, A. The market for technology. In: HALL, B. H.; ROSENBERG, N. (Eds.). *Handbook of the economics of innovation*. v. 1. Amsterdam: North Holland, 2010. p. 641-675.
- ARROW, K. *The limits of organization*. New York/London: W. W. Norton & Company, 1974.

AUTOR, D. H. Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of Economic Perspectives*, v. 29, n. 3, pp. 3-30, 2015.

BRESNAHAN, T. General purpose technologies. In: HALL, B.; ROSENBERG, N. (Ed.). *Handbook of the economics of innovation*. v. 2. Amsterdam: North Holland, 2010. p. 761-791.

COHEN, W.; LEVINTHAL, D. Innovation and learning: the two faces of R&D. *The Economic Journal*, v. 99, n. 397, p. 569-596, sept. 1989.

COHEN, W.; LEVINTHAL, D. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, v. 35, p. 128-152, 1990.

COWAN, R.; DAVID, P. A.; FORAY, D. The explicit economics of knowledge codification and tacitness. *Industrial and Corporate Change*, v. 9, n. 2, p. 211-253, 2000.

DOSI, G. *Technical change and industrial transformation*. London: Palgrave Macmillan, 1984.

EVENSON, R. E. The green revolution and the gene revolution in Pakistan: policy implications. *The Pakistan Development Review*, v. 44, n. 4, p. 359-386, 2005.

EVENSON, R. E.; GOLLIN, D. Assessing the impact of the green revolution, 1960 to 2000. *Science*, v. 300, p. 758-762, 2 May 2003.

EVENSON, R. E.; KISLEV, Y. Research and productivity in wheat and maize. *Journal of Political Economy*, v. 81, n. 6, p. 1309-1329, 1973.

FAIRBANK, J. Self-strengthening: the pursuit of Western technology. In: FAIRBANK, J. (Ed.). *The Cambridge History of China*. v. 10. Cambridge: Cambridge University Press, 1978. p. 491-542.

FREEMAN, C. *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*. London: Pinter Publishers, 1987.

GERSCHENKRON, A. *Economic backwardness in historical perspective*. 1952. Cambridge: Harvard University Press, 1962.

GREENSTEIN, S. *How the internet became commercial: innovation, privatization and the birth of a new network*. Princeton: Princeton University Press, 2015.

JENSEN, M. B. *et al.* Forms of knowledge and modes of interaction. *Research Policy*, v. 36, n. 5, p. 680-693, 2007.

JOHNSON, B.; LORENZ, E.; LUNDVALL, B-A. Why all this fuss about codified and tacit knowledge? *Industrial and Corporate Change*, v. 11, n. 2, p. 211-253, 2002.

KIM, L. *Da imitação à inovação: a dinâmica do aprendizado tecnológico da Coréia*. 1997. Campinas: Editora da Unicamp, 2005.

KONDRATIEV, N. D. Long cycles of economic conjuncture. 1926. *In:* (Eds.). MAKASHEVA, N.; SAMUELS, W.; BARNETT, V. *The works of Nikolai D. Kondratiev*. London: Pickering and Chato, p. 25-60, 1998.

KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1962.

LALAND, K. *Darwin's unfinished symphony: how culture made the human mind*. Princeton: Princeton University Press, 2017.

LEVIN, R. *et al.* Appropriating the returns from industrial research and development. *Brookings papers on economic activity*, Washington, v. 3, p. 783-832, 1978.

LUNDVALL, B-A. *The learning Economy and the economics of hope*. London/New York: Anthem Press, 2016.

MANSFIELD, E. The speed and cost of industrial innovation in Japan and the United States: External vs. internal technology. *Management Science*, v. 34, n. 10, p. 1157-1168, 1988.

MARX, K. *O Capital (1867)*. São Paulo: Abril Cultural, 1984. Volume 1.

MAZZOLENI, R.; NELSON, R. Public research institutions and economic catch-up. *Research Policy*, v. 36, n. 10, p. 1512-1528, 2007.

NELSON, R. (Ed.). *National innovation systems: a comparative analysis*. New York, Oxford: Oxford University Press, 1993.

NELSON, R.; WINTER, S. Evolutionary theorizing in economics. *Journal of Economic Perspectives*, v. 16, n. 2, p. 23-46, 2002.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press, 1982.

OECD. *OECD Science, Technology and Industry Outlook 2016*. Paris: OECD Publishing, 2016. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-en. Acesso em: 15 out. 2022.

OHKAWA, K; KOHAMA, H. *Lectures on developing economics: Japan's experience and its relevance*. Tokyo: University of Tokyo, 1989.

PAVITT, K. What makes basic research economically useful? *Research Policy*, v. 20, n. 2, p. 109-119, 1991.

PEREZ, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, v. 34, n. 1, p. 185-202, 2010.

POLANYI, M. *Personal knowledge: towards a post-critical philosophy* (1958). London: Routledge, 2002.

POLANYI, M. *The tacit dimension* (1966). Chicago: The University of Chicago Press, 2009.

POLANYI, M. The republic of science: its political and economic theory. *Minerva*, v. 1, n. 1, p. 54-73, 1962.

QUEIROZ, S. Aprendizado tecnológico. In: PELAEZ, V.; SZMERECSÁNYI, T. (Org.). *Economia da inovação tecnológica*. São Paulo: Hucitec, 2006. p. 193-211.

ROSENBERG, N. *Technology and American economic growth*. Armonk: M. E. Sharpe, 1972.

ROSENBERG, N. *Perspectives of technology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1976.

ROSENBERG, N. *Inside the black box: technology and economics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

ROSENBERG, N. Why do firms do basic research (with their money)? *Research Policy*, v. 19, p.165-174, 1990.

ROSENBERG, N.; STEINMUELLER, E. Why are Americans such poor imitators? *American Economic Review*, v. 78, n. 2, p. 229-234, 1988.

SCHERER, F.; ROSS, D. *Industrial market structure and economic performance*. Boston: Houghton Mifflin, 1990.

SCHUMPETER, J. *A teoria do desenvolvimento econômico* (1911). São Paulo: Nova Cultural, 1985.

SKOCPOL, T. *States & social revolutions: a comparative analysis of France, Russia & China*. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.

TEECE, D. Technology transfer by multinational firms: the resource cost of transferring technological know-how. *Economic Journal*, v. 8, n. 346, p. 242-261, 1977.

TEIXEIRA, A. L. S. *Determinantes organizacionais e especificidades da capacidade de absorção de firmas no Brasil*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: Cedeplar-UFMG, 2019.

TENG, S.; FAIRBANK, J. *China's response to the West: a documentary survey, 1839-1923, with a new preface*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1979.

THE NOBEL PRIZE. The Nobel Peace Prize 1970. *Norman Borlaug: Facts*. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/peace/1970/borlaug/facts/>. Acesso em: 23 nov. 2023.

VIOTTI, E. 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, p. 653-680, 2002.

Autor correspondente:

Eduardo da Motta e Albuquerque
albuquerque@cedeplar.ufmg.br

Recebido em: 27/04/2020

Aceito em: 25/11/2020