

DINÂMICA DAS REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS
Mudança técnica, dinâmica industrial e transformações do capitalismo^(*)

RESUMO:

Este artigo busca colocar a discussão contemporânea sobre revoluções tecnológicas em perspectiva histórica. A primeira seção apresenta Marx como um pioneiro na descrição de revoluções tecnológicas, a segunda seção apresenta a elaboração de Kondratiev e sua incorporação por Schumpeter, a terceira sumariza os debates no pós-guerra e a emergência de elaboração neo-schumpeterina, a quarta seção organiza um diálogo entre a elaboração neo-schumpeteriana e a abordagem dos ciclos sistêmicos de acumulação para lidar com periodizações do capitalismo e a sexta seção conjectura sobre especificidades da revolução tecnológica atual.

PALAVRAS-CHAVE: revoluções tecnológicas, Kondratiev, periodização capitalismo

ÁREA TEMÁTICA: Economia

^(*) Este artigo é uma versão de um capítulo preparado para o livro *Economia da Ciência, Tecnologia e Inovação: fundamentos teóricos e a economia global*, editado por Márcia Rapini e Leandro Silva. Agradeço o apoio do CNPq (Processo 302857/2015-0) e as sugestões e comentários da Profa. Márcia Rapini. Os erros são responsabilidade exclusiva do autor.

DINÂMICA DAS REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS

Mudança técnica, dinâmica industrial e transformações do capitalismo

INTRODUÇÃO

O mundo vive uma "terceira revolução industrial" (Rifkin, 2011), ou uma "segunda era das máquinas" (Brynjolfsson e McFee, 2014), ou uma "terceira onda" (*The Economist*, 2014) ou uma "quarta revolução industrial" (Schwab, 2016). O tema do Fórum Econômico Mundial de 2016 é a "quarta revolução industrial" (*Financial Times*, 19 Janeiro 2016, "Davos 2016: The 4 big themes facing the World Economic Forum"). Como Schumpeter (1939, p. 247) observa, não é a primeira vez que isso acontece, pois no final do século XIX "the New Industrial Revolution has become a very common phrase".

Debates sobre o significado dessa última "revolução industrial" também ganham peso. Um exemplo é o livro de Robert Gordon (2016), que discute de forma mais pessimista as perspectivas da "terceira revolução industrial", que poderia estar se esgotando. Gordon polemiza com os "tecno-otimistas", representados por Brynjolfsson e McFee, com uma avaliação extremamente importante para os debates atuais sobre perspectivas do capitalismo global, pois é um dos argumentos de Lawrence Summers sobre o retorno do fantasma da "*secular stagnation*".

Sintoma da importância do tema é a ampliação da sensibilidade do *mainstream* da disciplina da economia à existência de mudanças tecnológicas radicais e de revoluções tecnológicas, exemplificadas pela elaboração de Helpman (1998) e Corrado (2010).

Essas referências indicam como a temática típica de pesquisadores e estudantes da economia da ciência e da tecnologia é crescentemente importante em debates contemporâneos. Em especial, por colocar no dia a dia a discussão sobre "revoluções industriais" ou revoluções tecnológicas.

Este artigo busca colocar a discussão contemporânea em perspectiva histórica, tanto do ponto de vista da história econômica - apresentando avaliações de revoluções tecnológicas anteriores - como do ponto de vista do pensamento econômico - apresentando autores que lidaram com a mudança tecnológica como uma questão central. O ponto de partida da discussão deste artigo é o papel da inovação tecnológica na dinâmica do sistema capitalista: o papel central da inovação está colocado na elaboração de Schumpeter, sintetizado no célebre segundo capítulo de sua *Teoria do Desenvolvimento Econômico*

(1911) - a inovação, em qualquer de seus cinco tipos básicos, está no centro da dinâmica do sistema, pois o lucro é resultado de uma inovação bem-sucedida implementada na economia.¹ É a inovação que detona um conjunto de mudanças que está por trás do fenômeno do desenvolvimento - e sua lógica articulada ao cerne da ação no sistema capitalista: a busca do lucro. É a inovação que alimenta o processo de "destruição criadora" que caracteriza o sistema capitalista (Schumpeter, 1942, capítulo 7).

Essa compreensão básica do papel da inovação na dinâmica capitalista organiza o roteiro deste artigo, porque as inovações não são distribuídas de forma contínua ao longo do tempo e nem todas têm o mesmo significado. Uma combinação entre o caráter radical de uma inovação e o seu agrupamento em pontos específicos do tempo constituem a base da ocorrência periódica de revoluções tecnológicas ao longo da história do sistema capitalista. Um sistema que nasce de uma das mais profundas revoluções tecnológicas: a revolução industrial britânica. Em todas as periodizações dos livros indicados nesta introdução, a revolução industrial britânica é a primeira da lista - um consenso importante e raro entre essas elaborações.

O roteiro deste artigo está organizado em torno da idéia das revoluções tecnológicas. Um conselho de Nathan Rosenberg (1976, p. 34) explica a primeira seção: a elaboração de Marx "still deserves to be a starting point for any serious investigation of technology and its ramifications". Marx (1867) será lido como um autor que na discussão da revolução industrial - a emergência da "grande indústria" - desenvolve um padrão de interpretação que indica como uma inovação radical em um ponto estratégico da economia se espalha por todo o aparato produtivo e afeta o conjunto da economia. A segunda seção apresenta a elaboração de Kondratiev (1926a, 1926b) sobre ondas longas e o papel da tecnologia e sua incorporação por Schumpeter (1939). O material histórico trabalhado por Kondratiev (1926b) e por Schumpeter (1939) inclui duas revoluções tecnológicas posteriores à revolução industrial investigada por Marx. A terceira seção combina uma avaliação de uma retomada do interesse na movimentação de longo prazo do sistema

¹ Uma demonstração da relevância dos debates sobre a inovação na história do pensamento econômico é uma carta de Bentham para Adam Smith (Março de 1787, disponível em <http://www.econlib.org/library/Bentham/bnthUs3.html>), na qual, segundo Pesciarelli (1989, p. 531) "no fewer than four out of the five new combinations listed by Schumpeter in his *Theory of Economic Development* prove to have been first introduced by Bentham" - apenas a inovação organizacional não estaria na lista de Bentham. Agradeço o Prof. Hugo Eduardo Cerqueira por ter chamado atenção para este trabalho de Pesciarelli.

capitalista, com um quadro de intensos debates e novas elaborações sobre o papel de revoluções tecnológicas em um mundo que assistia uma quarta revolução tecnológica - relacionada às inovações introduzidas durante e no imediato do pós-guerra. Nesse contexto teórico é possível indicar a emergência da elaboração neo-schumpeteriana, que tem nas intervenções de Freeman sobre revoluções tecnológicas e ondas longas uma das raízes mais importantes (ver em especial Freeman, Clark e Soete, 1982) - como será discutido na seção III. Um livro editado por Freeman em 1983 é uma excelente síntese das discussões e diálogos dos anos 1970s. Há nesse período uma sistematização da discussão sobre ondas longas, que permite ao próprio Freeman já indicar a emergência de uma nova revolução tecnológica no início dos anos 1990s - as tecnologias de informação e comunicação (Freeman e Soete, 1997; Freeman e Louçã, 2001). A quarta seção, à luz dos debates do início do século XXI, busca integrar a elaboração das revoluções tecnológicas com diversos esforços de periodização do capitalismo (Albritton et al, 2001), explorando a necessidade de diálogos com outras elaborações teóricas que buscam compreender o capitalismo e sua dinâmica no longo prazo, mas que focam em outros elementos importantes para além das revoluções tecnológicas em si mesmas, como a elaboração de Arrighi (1994) sobre ciclos sistêmicos de acumulação. A quinta seção investiga as particularidades da revolução tecnológica atual - emergente? relacionada com uma nova fase do capitalismo? -, buscando contextualizar o "boom" literário relativo a uma nova revolução industrial.

I- MARX E A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL: UM MODELO PARA REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS POSTERIORES

No *Manifesto* de 1848, redigido com Engels, Marx indica o papel da inovação tecnológica no sistema capitalista e como essa característica distingue este sistema de todos os anteriores: "[a] burguesia só pode existir com a condição de revolucionar incessantemente os instrumentos de produção, por conseguinte, as relações de produção e, com isso, todas as relações sociais.....Essa subversão contínua da produção, esse abalo constante de todo o sistema social, essa agitação permanente e essa falta de segurança, distinguem a época burguesa de todas as precedentes" (1848, p. 24). Um escrito da juventude, esse parágrafo pode ser lido como um tópico importante no programa de pesquisa de Marx, programa completado parcialmente com *O Capital*.

A sistematização das contribuições de Marx para o estudo da tecnologia está além do objetivo desta seção - o leitor interessado pode encontrar em Rosenberg (1974, 1976) excelentes revisões para iniciar tais estudos. Entre a publicação do *Manifesto* e a primeira edição de *O Capital*, Marx avança substancialmente a elaboração sobre as particularidades dessa incessante revolução tecnológica que distingue o capitalismo dos sistemas anteriores - novas tecnologias provocam revolução no valor, a disputa pelos super-lucros impulsiona a utilização de métodos mais modernos de produção e caracteriza a competição intercapitalista, a aplicação sistemática da ciência à produção transforma a natureza das forças produtivas.

Entre os avanços entre o *Manifesto* e *O Capital* está a elaboração sobre os mecanismos de propagação das mudanças tecnológicas - algo que Rosenberg (1982) trata como "seqüências compulsivas" em um texto sobre orientações do progresso tecnológico. A apresentação de Marx sobre "o desenvolvimento da maquinaria" (tópico 1, capítulo 13) pode ser lida como uma primeira descrição do que é uma revolução tecnológica. Desde os dois capítulos anteriores Marx constrói um quadro dinâmico no qual o trabalho, sua divisão e sua produtividade vêm se alterando: "cooperação" e "manufatura" (descrita por Adam Smith) antecedem o capítulo sobre a "maquinaria e a grande indústria".

Aqui, a evolução das máquinas é descrita por Marx, até chegar ao ponto de partida da Revolução Industrial: "A máquina da qual parte a Revolução Industrial substitui o trabalhador, que maneja uma única ferramenta, por um mecanismo, que opera com uma massa de ferramentas iguais ou semelhantes de uma só vez, e que é movimentada por uma única força motriz, qualquer que seja a sua força" (tomo 2, p. 10).

Uma vez revolucionado o modo de produção em um ponto, o processo de sua difusão se inicia: "[o] revolucionamento do modo de produção numa esfera da indústria condiciona seu revolucionamento nas outras" (tomo 2, p. 15).

A descrição que Marx apresenta a seguir é uma didática elaboração sobre o processo de espalhamento de mudanças que caracterizou a Revolução Industrial, mas que também serve de modelo para outras revoluções tecnológicas, com as devidas adaptações. O processo começa em um ponto, na fiação. O impacto deste começo não é pequeno - Carlota Perez (2010, p. 190) usa a expressão *big bang*, de forma muito apropriada, para descrever a natureza deflagradora de uma inovação radical. As conseqüências desse *big bang* são

enormes, como descreve Marx, "... a mecanização da fiação tornou necessária a mecanização da tecelagem e ambas tornaram necessária a revolução mecânica e química no branqueamento, na estampagem e na tinturaria. Assim, por outro lado, a revolução na fiação do algodão suscitou a invenção do *gin* para separar a fibra de algodão da semente, com que finalmente tornou possível a produção em grande escala agora exigida. Mas a revolução no modo de produção da indústria e da agricultura exigiu também uma revolução nas condições gerais do processo de produção social, isto é, nos meios de comunicação e transporte" (tomo 2, pp. 15-16).

Ou seja, uma inovação radical em um ponto estratégico da estrutura produtiva deflagra um conjunto de efeitos para a frente e para trás, espalhando o processo revolucionário da agricultura aos meios de transporte. O processo, porém, prossegue, na medida em que "o sistema de transporte foi, pouco a pouco, ajustado, mediante um sistema de navios fluviais a vapor, ferrovias, transatlânticos a vapor e telégrafos, ao modo de produção da grande indústria" (tomo 2, p. 16).

Esse ajustamento, por sua vez, determina novas demandas. Grande indústria, ferrovias, navios, prossegue Marx, "as terríveis massas de ferro que precisavam ser forjadas, soldadas, furadas e moldadas exigiam, por sua vez, máquinas ciclópicas, cuja criação não era possível à construção manufatureira de máquinas" (tomo 2, p. 16). Esse movimento determina um passo final: "[a] grande indústria teve, portanto, de apoderar-se de seu meio característico de produção, a própria máquina, e produzir máquinas por meio de máquinas. Só assim ela criou sua base técnica adequada e se firmou sobre os seus próprios pés" (tomo 2, p. 16).

Nesse processo, todos os setores da economia sofreram impactos e foram transformados. A revolução industrial se completa quando a forma de produzir máquinas passa a ser através de máquinas, um final de um processo que tem conseqüências revolucionárias também: com a maquinaria, há a substituição da "rotina empírica pela aplicação consciente das ciências da Natureza" (tomo 2, p. 17) - uma mudança decisiva no padrão de relacionamento entre a dinâmica científica e a tecnológica. Até este momento, as interações entre ciência e tecnologia estavam dispersas no tempo - a revolução científica (Schuster, 1990) antecedeu a revolução industrial, uma forma de indicar influências indiretas, porém decisivas. Mokyr (1990) menciona pelo menos dois canais por onde a

Revolução Científica se comunicou com a Revolução Industrial: 1) inventores e industriais britânicos estiveram em constante contato com cientistas durante a Revolução Industrial (p. 168); 2) a máquina a vapor seria impensável sem os *insights* de Torriceli e Guericke sobre a pressão atmosférica (p. 168).²

De qualquer forma, o que era difuso e sob um hiato intertemporal razoável, a partir da Revolução Industrial, com esse aspecto estrutural novo descortinado por Marx - aplicação consciente da ciência à produção - torna-se sistemático e articulado temporalmente. Tem-se um esboço da construção institucional descrita como sistemas de inovação pelos autores neo-schumpeterianos nos anos 1980s. Esse aparato institucional, por sua vez, inaugura um padrão de interação e de mecanismos de reforço mútuo entre a ciência e a tecnologia que impulsionarão outras revoluções tecnológicas ao longo dos séculos XIX, XX e XXI - a crescente dependência das tecnologias em relação à ciência é outra característica das transformações do capitalismo nesses três séculos.

II- KONDRATIEV E SCHUMPETER: REVOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ONDAS LONGAS NO DESENVOLVIMENTO CAPITALISTA

Entre 1919 e 1921 Kondratiev formulou a hipótese da existência de ondas longas na dinâmica econômica capitalista e em 1922 publicou em Moscou o livro *The World Economy and Economic Fluctuations in the War and Post-War Period* (1926, p. 544).³ Para Kondratieff, um pesquisador de ciclos econômicos, "[t]he idea that the dynamics of economic life in the capitalistic social order is not of a simple and linear but rather of a complex and cyclical character is nowadays generally recognized" (p. 519). Ele resenha as discussões sobre ciclo, mencionando trabalhos sobre os ciclos de oito a onze anos de duração, os trabalhos de Kitchin sobre ciclos mais curtos e trabalhos de "Moor, Lescure, Aftalion, Spiethoff, and Cassel" sobre ondas longas. Conclui a sua resenha da literatura, após listar polêmicas e ceticismo, sugerindo que "[t]here is, indeed, reason to assume the

² Ver Suprinyak (2009). Para uma discussão atualizada da relação entre a revolução científica e a revolução industrial, ver M. Jacob (2014) e a avaliação crítica de Gráda (2016).

³ Kondratieff (1926, p. 544) explicita a sua relação com outras elaborações em curso na década de 1920, similares a sua: "[o]nly at the beginning of 1926 did I become acquainted with S. de Wolff's article 'Prosperitäts- und Depressionsperioden', *Der lebendige Marxismus, Festgabe zum 70. Geburtstag von Karl Kautsky*. De Wolff in many points reaches the same result as I do. The works of J. van Gelderns, which de Wolff cites and which have evidently been published only in Dutch, are unknown to me". Posteriormente, Kondratiev inclui van Gelderen entre os teóricos que lidam com as ondas longas (Kondratiev, 1928, p. 423)

existence of long waves of an average length of about 50 years in the capitalistic economy, a fact which still further complicates the problem of economic dynamics" (1926a, p. 520). No restante o texto apresenta evidências estatísticas relativas a essas ondas longas.

Com a publicação de textos inéditos no final do século XX (ver Louçã, 1999), a sofisticação e a riqueza dos *insights* de Kondratiev ficam mais evidentes.⁴ Em outro texto de 1926, publicado em 1998, Kondratiev (1926b, pp. 38-41) discute "four empirical principles governing the development of long waves". O primeiro princípio sugere que "[p]rior to the start of the rising wave of each cycle and sometimes at its start significant changes in the main conditions of economic life of society are observed. These changes are usually manifest ... in far-reaching changes in manufacturing techniques and capacity..., in changes in the conditions of monetary circulation, in a strengthening of the role of new countries in world economic life, and so on". (p. 38).⁵ A seguir, Kondratiev associa cada um dos três ciclos longos com mudanças tecnológicas: a Revolução Industrial no caso do primeiro (p. 39), aperfeiçoamentos no motor a vapor (1824), invenção da turbina (1824-7), cimento Portland (1824), entre outras inovações, associados ao segundo ciclo (p. 39), e o dínamo, motor a combustão, telégrafo, transmissão de energia elétrica, no caso do terceiro (p. 40).

Um dos méritos de Schumpeter (1939) é incorporar a elaboração de Kondratiev e de seus *insights* sobre o papel da tecnologia nas ondas longas enfatizando um papel central para as inovações na definição dos ciclos em geral - e das inovações radicais para a formação das ondas longas. Na verdade, desde 1911 com o livro *Teoria do Desenvolvimento Econômico*, Schumpeter articulava a dinâmica cíclica da economia capitalista com a inovação tecnológica. No capítulo sobre os ciclos econômicos (sexto capítulo), Schumpeter (1911, p. 148) pergunta "por que os altos e baixos no desenvolvimento" e responde: "porque as combinações novas ... aparecem descontinuamente, em grupos ou bandos". Se o aparecimento de novas combinações fosse

⁴ Para o tema deste artigo, é interessante destacar que Kondratiev (1928, p. 381) cita Schumpeter (1911), entre diversos autores relevantes para a discussão de ciclos. Aliás, como Louçã (1999, p. 191 e p. 198) destaca, é impressionante a lista de autores discutida por Kondratiev (além de Schumpeter, estão Simmel, Keynes, Mitchel, Fisher, Marshall, Hansen).

⁵ De forma mais direta, Kondratiev (1926b, p. 49) sugere que "the dynamics of long waves is induced by random attendant conditions and events, such as 1- changes in technology, 2- wars and revolutions, 3- the involvement of new territories in the orbit of the world economy, 4- fluctuations in gold mining".

contínuo, para Schumpeter (1911, p. 149) "as perturbações teriam importância apenas local e seriam facilmente superadas pelo sistema econômico como um todo".

Se já na obra de 1911 a dinâmica cíclica da economia é determinada pela introdução de inovações, a contribuição de Kondratiev é incorporada por Schumpeter para dar conta da diferença na natureza das inovações e no seu agrupamento. No livro *Business Cycles* Schumpeter parte da discussão do capítulo 6 do *Teoria do Desenvolvimento Econômico* e a partir desta síntese introduz novas questões: "if innovations are at the root of cyclical fluctuations, these cannot be expected to form a single wavelike movement, because the periods of gestation and of absorption of effects by economic system will not, in general, be equal for all innovations that are undertaken at any time" (1939, p. 141). Há aqui um esforço de Schumpeter para diferenciar as inovações: "innovations of relatively long span", "less important innovations" (p. 141), "major innovations" (p. 142).⁶ A seguir, Schumpeter discute seqüências de ciclos, que se associariam a inovações radicais ("major innovations") - "major innovations hardly ever emerge in their final form or cover the whole field that will ultimately be their own" (p. 142). Exemplos de Schumpeter são as ferrovias, a eletrificação e a motorização do mundo (p. 142). Há assim uma seqüência de mudanças, que é exemplificada com o automóvel: "[t]he motorcar would never have acquired its present importance and become so potent reformer of the life if it had failed to shape the environmental conditions - roads, among them - for its own further development" (p. 142).

O raciocínio de Schumpeter se completa com a referência a algo que ferrovias, eletrificação e motorização teriam em comum com a Revolução Industrial: há algo além dos ciclos em si, "effects other than those which show in the cycles themselves" (p. 143). Em uma exposição que prefigura a próxima importante contribuição teórica de Schumpeter - o processo de "destruição criadora" (1942) -, exemplifica com as ferrovias um processo que demanda tempo - "[i]t requires more time to bring into use the opportunities of production newly created by the railroad and to annihilate others" (p. 143).

Neste ponto Schumpeter pode justificar a decisão teórica de escolher três ciclos específicos para sintetizar as flutuações discutidas por ele. De uma forma que lembra a introdução do texto de Kondratiev (1926, pp. 519-520), Schumpeter opta por ciclos curtos

⁶ Esse esforço de Schumpeter abre uma longa discussão entre pesquisadores da inovação sobre a natureza das inovações. Freeman (1994) apresenta uma síntese abrangente através da proposta de uma tipologia de inovações (ver especialmente a seção 5: "Industry-specific incremental and radical innovations").

(Kitchin), ciclos industriais clássicos (Juglar) e os ciclos de duração mais longa (Kondratieff). Para organizar a transição para os capítulos históricos do *Business Cycles*, Schumpeter (1936, p. 145) descreve os três "Kondratieffs" que ocorreram até a edição do seu livro: o primeiro, dos anos 1780s a 1842, corresponderia à Revolução Industrial; o segundo, de 1842 a 1897, a era do vapor e do aço, e o terceiro, a partir de 1898, o Kondratieff da eletricidade, da química e do motor. Nos capítulos históricos Schumpeter apresenta dados e informações disponíveis para descrever cada uma dessas fases.

A elaboração de Kondratiev e a reinterpretação de Schumpeter ficam nítidas pela utilização no *Business Cycles* de praticamente a mesma periodização sugerida pelo economista russo no seu texto de 1926: Kondratiev (1926, p. 535) identificou estatisticamente três ondas longas, aproximadamente entre o final da década de 1780 e a década de 1920. Schumpeter articula uma relação entre agrupamentos de inovações radicais e cada uma dessas ondas: a sua raiz tecnológica estava incorporada na literatura econômica.

O que interessa a este artigo não é tanto a importante e polêmica discussão sobre a existência de ondas longas e sua periodicidade, mas a identificação de revoluções tecnológicas capazes de impor à economia e à sociedade transformações tão profundas como as da Revolução Industrial. Tanto Kondratiev e Schumpeter, nas décadas iniciais do século XX, tiveram uma posição capaz de observar fenômenos estatísticos, históricos e econômicos que exigiram novas elaborações teóricas, como sugere Louçã (2007): metodologias para captar a pulsação da vida econômica no capitalismo.

Há assim, mudanças em setores líderes, que demonstram outras mudanças: é importante destacar que para as tecnologias do aço, da eletricidade, da química e do motor o papel de novas disciplinas universitárias - engenharias - e de descobertas científicas são decisivos. A aplicação sistemática da ciência à produção alcança novos patamares, exigindo inclusive transformações estruturais no interior da firma, com o surgimento dos primeiros departamentos de pesquisa e desenvolvimento - nas indústrias química e de eletricidade, no início da década de 1870.⁷ Além dessas mudanças setoriais, o *locus* da discussão do

⁷ As diferenças nas periodizações devem ser ressaltadas. Marx (1867) investigou apenas a "maquinaria e a grande indústria", combinando a mecanização da indústria têxtil e a emergência do motor a vapor. Kondratiev (1926b) e Schumpeter (1939), buscando explicitamente periodizar distintas fases do capitalismo, separaram a revolução industrial da era do vapor e do aço. Perez (2010) reorganiza a periodização de Schumpeter, propondo uma era do vapor e das ferrovias seguida da era do aço, eletricidade e máquinas pesadas. Essas

segundo e do terceiro Kondratieffs mudam: enquanto Marx tratou da Inglaterra, Schumpeter discute também a Alemanha e os Estados Unidos. Enfim, mudanças de setores e de regiões.

III- O DEBATE NO PÓS-GUERRA E A EMERGÊNCIA DA ELABORAÇÃO NEO-SCHUMPETERIANA

Após 1945 a economia capitalista nos países centrais conheceria uma longa fase de expansão, que duraria até aproximadamente 1974. Um conjunto de inovações tecnológicas que amadureceram durante e imediatamente após a Segunda Guerra Mundial está por trás dessa nova onda expansiva da economia mundial - e essa longa fase de expansão é um dos consensos entre as diversas abordagens que buscam periodizar a história econômica do capitalismo global (ver Albritton et al, 2001).

Com o início do fim da fase expansiva das economias centrais nos anos 1970, a discussão sobre as ondas longas do desenvolvimento capitalista ganhou um novo impulso. Delbeke (1981) resenha "recent long-waves theories", mapeando a retomada do interesse pelo tema nesse período: Mandel (1972), Mensch (1975), Forrester (1977), Freeman (1977) e Rostow (1975). O livro editado por Freeman (1983) a partir de um número especial da revista *Futures* é uma demonstração da ampliação do interesse sobre o tema e da riqueza da elaboração teórica em curso - e de um conjunto de diálogos que se abre entre essas diversas abordagens.

O conjunto das elaborações dos anos 1970s e 1980s é bastante diversificado, com uma vasta polêmica em torno da explicação da dinâmica de longo prazo dessas ondas. Entretanto, em todas as elaborações o papel das novas tecnologias é crucial, mesmo quando elas não eram consideradas o principal fator causal dessa dinâmica.

Representativo desse vasto movimento é a participação de uma das bases da emergente elaboração neo-schumpeteriana nos debates sobre as ondas longas: Chris Freeman. Freeman participa desses debates com o seu texto de 1977, como editor em 1981 do número especial da *Futures* e da sua posterior edição (ampliada) como o livro *Long waves in the world economy* em 1983, além de escrever *Unemployment and technical*

diferenças sugerem ao leitor um esforço para localizar temporal e institucionalmente cada autor - e as percepções possíveis em sua época.

change: a study on long waves and economic development em parceria com John Clark e Luc Soete em 1982.

Freeman, ao lado de Richard Nelson, Nathan Rosenberg e Keith Pavitt, pode ser considerado como um dos fundadores da abordagem neo-schumpeteriana. Certamente é o autor mais simpático ao esforço teórico relativo às ondas longas. A posição de Freeman na emergência da abordagem neo-schumpeteriana oferece uma singular posição teórica que permite, por um lado, importantes contribuições para as elaborações dessa corrente em formação - decorrentes do seu envolvimento com o esforço de compreensão da dinâmica de longo prazo da economia capitalista - e, por outro lado, decisivas contribuições da emergente economia da inovação para o debate das ondas longas - decorrentes de seu esforço teórico de compreender as forças motrizes da tecnologia, desde os seus componentes microeconômicos.

Essa posição singular pode ser exemplificada pelo texto de Chris Freeman e de Carlota Perez - *Structural crisis of adjustment: business cycles and investment behaviour* - no livro *Technical change and economic theory*, que foi a primeira síntese geral da abordagem neo-schumpeteriana, em 1988. Freeman e Perez (1988) apresentam uma síntese dos avanços da elaboração inspirada em Kondratiev, já incorporando contribuições dos debates dos anos 1970s e 1980s entre pesquisadores das ondas longas e ao mesmo tempo incorporando todos os avanços da elaboração neo-schumpeteriana em consolidação.

Freeman e Perez (1988) por um lado é um texto teórico capaz de incorporar a dinâmica das inovações tecnológicas no centro dos movimentos de longo prazo da economia capitalista, com uma combinação mais sofisticada da diferença entre os movimentos da inovação em si e de sua difusão através de um conjunto de inovações incrementais - já absorvendo as elaborações sobre paradigmas tecnológicos (Dosi, 1983) e sobre o papel das inovações incrementais (Rosenberg, 1976; Patel e Pavitt, 1994) - e destacar o papel de mudanças institucionais - simultaneamente pré-requisito e consequência das mudanças tecnológicas - por trás dos processos de desajustamento e reajustamento institucionais que se corporificam nas grandes crises da economia capitalista, momentos de transformação estrutural do capitalismo.

Por outro lado, o texto de Freeman e Perez (1988) é um texto de história econômica, que organiza um painel das quatro revoluções tecnológicas que tiveram lugar até 1988, um

painel rico de *insights* e de sugestões de pesquisa, por apresentar as quatro revoluções tecnológicas em seus diversos componentes estruturais, que incorporam desde as tecnologias líderes e emergentes, até a organização das firmas líderes e as estruturas de mercado, estrutura de financiamento das empresas e de suas inovações,⁸ países líderes e países emergentes, características principais dos sistemas de inovação mais importantes, elementos institucionais como organização dos estados e de sistemas de bem-estar social, natureza do contexto geopolítico predominante (1988, pp.50-56).

Além de sistematizar esses elementos estruturais das quatro ondas longas até então desenvolvidas, Freeman e Perez (1988) exploram características potenciais de uma nova revolução tecnológica aparentemente em curso, baseada nas tecnologias de informação e comunicação. Esse mesmo esquema é mais acabado em uma apresentação posterior (Freeman e Soete, 1997, pp. 65-70), na qual a onda longa relativa às tecnologias de informação e comunicação (TICs) já pode ser discutida com mais elementos empíricos e históricos.

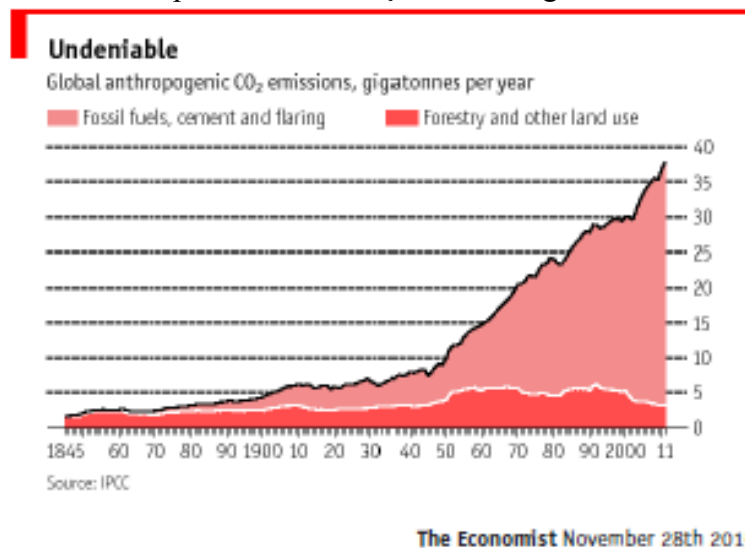
Finalmente, Freeman e Louçã (2001) apresentam uma contribuição à elaboração das ondas longas que combina uma discussão teórica (Parte I: História e economia) com uma apresentação renovada e enriquecida do painel histórico (Parte II: Revoluções industriais sucessivas). Esse livro permite uma nova incorporação das crescentes contribuições teóricas da elaboração neo-schumpeteriana com os desenvolvimentos históricos relativos a nova fase relativa à revolução das TICs. Na sucessão das tecnologias centrais das cinco ondas longas – mecanização da indústria têxtil, máquina a vapor, eletricidade e química, motor a combustão e eletrônica e, finalmente, as tecnologias de informação e comunicação – há por trás uma crescente complexidade das tecnologias, grosso modo, determinada por seu crescente conteúdo científico. Isto demanda um conjunto de articulações institucionais sintetizadas no conceito de sistema nacional de inovação - outro conceito central na elaboração neo-schumpeteriana que tem importantes contribuições na elaboração de Freeman (1987, 1988a).

O estágio alcançado pela elaboração sobre as revoluções tecnológicas que se sucedem na história do capitalismo global permite afirmar que essas revoluções são produtos de arranjos institucionais muito específicos, que permitem o fenômeno que Marx

já havia identificado em 1857-1858 como característica do capitalismo: a aplicação sistemática da ciência à produção. A aplicação sistemática da ciência à produção é institucionalmente organizada nos sistemas de inovação. Assim, periodicamente os sistemas de inovação nos países centrais geram revoluções tecnológicas que moldam e remoldam o capitalismo global.

Um balanço final do impacto das revoluções tecnológicas na história do capitalismo global deve incluir um novo desafio para o emergente sistema global de inovação: o impacto ambiental das tecnologias dominantes até aqui. A Figura 1 apresenta o impacto em termos de emissão de CO₂ de revoluções tecnológicas que foram baseadas fortemente no consumo de carvão e petróleo. Segundo o *The Economist (Special report on Climate Change, 28/11/2015, p. 12)*, até agora foram emitidos um total de 2.000 gigatoneladas de CO₂, quando o limite para o aquecimento global não ultrapassar os 2 graus Celsius seria de 3.200 gigatoneladas de CO₂ - algo que mantidos os padrões tecnológicos atuais seriam alcançados em 30 anos, segundo a Figura 1.

FIGURA 1:
A produção de emissões de CO₂ pelos produtos das revoluções tecnológicas das quatro primeiras revoluções tecnológicas



FONTE: IPCC, de acordo com *The Economist* (28/11/2015, p. 12)

É necessário ressaltar que as preocupações relativas à necessária reorientação do progresso tecnológico para dar conta deste desafio é parte das contribuições de Chris Freeman (1996).

IV- REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS E PERIODIZAÇÃO DO CAPITALISMO

A investigação da dinâmica econômica com um foco nas revoluções tecnológicas que a moldam permite a formulação de um painel histórico para a identificação de diferentes fases do capitalismo. A Tabela 1, preparada por Perez (2010) é uma das possibilidades de sistematização.

TABELA 1: Cinco revoluções tecnológicas sucessivas

Technological revolution	Popular name for the period	Big-bang initiating the revolution	Year	Core country or countries
First	The Industrial Revolution	Arkwright's mill opens in Cromford	1771	Britain
Second	Age of Steam and Railways	Test of the <i>Rocket</i> steam engine for the Liverpool–Manchester railway	1829	Britain (spreading to Europe and USA)
Third	Age of Steel, Electricity and Heavy Engineering	The Carnegie Bessemer steel plant opens in Pittsburgh, PA	1875	USA and Germany forging ahead and overtaking Britain
Fourth	Age of Oil, the Automobile and Mass Production	First Model-T comes out of the Ford plant in Detroit, MI	1908	USA (with Germany at first vying for world leadership), later spreading to Europe
Fifth	Age of Information and Telecommunications	The Intel microprocessor is announced in Santa Clara, CA	1971	USA (spreading to Europe and Asia)

FONTE: Perez (2010, p. 190)

Esse esquema de Perez sintetiza tabelas mais detalhadas comentadas em seções anteriores (Freeman e Perez, 1988, pp. 50-56; Fremman e Soete, 1997, pp. 65-70). Esse esquema é didático para explicitar a contribuição da abordagem neo-schumpeteriana para a sistematização de diferentes fases do capitalismo.

Porém, como a elaboração de Freeman é bastante consciente, a dimensão tecnológica não pode ser compreendida sem articulação com dimensões como a monetária-financeira e a dimensão do poder. Como lidar com essas três dimensões simultaneamente? Uma sugestão é uma discussão integrada das abordagens relativas às “ondas longas do desenvolvimento capitalista” (Freeman e Louçã, 2001) e aos “ciclos sistêmicos de acumulação” (Arrighi, 1994).

A possibilidade de diálogo existe porque as duas elaborações reconhecem a importância dos seus pontos fracos (dinheiro e poder nas “ondas longas” e tecnologia nos “ciclos sistêmicos de acumulação”). No esquema de Freeman e Soete (1997, pp. 65-70, coluna 13), há referências aos “aspectos dos regimes regulatórios internacionais”, nos quais a *Pax Brittanica*, a *Pax Americana* e multipolaridade são mencionadas.⁹ Por sua vez, o esquema dos ciclos sistêmicos de acumulação enfatiza como o poder na escala mundial é baseado na indústria bélica, dependente da “aplicação da ciência à guerra”. Esses elementos devem ser integrados, necessariamente, à discussão sobre o Estado – na qual a descrição de O’Connor (1973) inclui o *Warfare State*, característico dos Estados Unidos do pós-guerra. Com essa integração, portanto, é possível lidar com as três dimensões: tecnologia, finanças e poder – Estado. Esse diálogo justifica-se, entre outras razões, pelos focos específicos das duas elaborações: tecnologia, em um caso; dinheiro e poder, em outro caso. Por isso, as duas elaborações se reforçariam com a articulação entre os seus respectivos pontos fortes. Além do mais, esse diálogo não foi até hoje realizado entre os autores mais importantes das duas abordagens.

A relação teórica das elaborações sobre ondas longas e ciclos sistêmicos de acumulação com a obra de Marx merece um comentário específico. Freeman e Louçã (2001) apresentam uma síntese atualizada, um conjunto amplo de referências sobre o tema, materializando um diálogo entre as elaborações de inspiração neo-schumpeterianas e a elaboração de Mandel. Quanto aos ciclos sistêmicos de acumulação, a exposição de Arrighi, na introdução de *O longo século XX* (1994, pp. 1-26) é rica o suficiente para destacar uma síntese entre a elaboração de Marx e os estudos históricos de Braudel, além de enfatizar como Marx, no terceiro volume de *O Capital* reflete sobre transições de

⁹ Polanyi (1944, p. 32) refere-se à *Pax Brittanica* como um equilíbrio às vezes mantido “através dos canhões de seus navios, entretanto, mais freqüentemente, ela prevalecia puxando os cordéis da rede monetária internacional”: dinheiro (mundial) e poder no centro da hegemonia britânica.

hegemonia históricas descritas com detalhe na obra de Braudel (1986). A percepção por Marx da transformação dos Estados Unidos no caso clássico do desenvolvimento capitalista é uma indicação de outro possível diálogo em torno da mudança de centros hegemônicos.

A elaboração sobre a questão financeira não está explicitamente desenvolvida nessas formulações, mas em um esquema apresentado por Freeman e Perez (1988) há uma indicação de relacionamentos gerais entre a forma de organização da empresa líder de cada período e mecanismos de financiamento disponíveis para elas. Na primeira onda longa, as firmas pequenas e os empresários dispunham de sua riqueza individual e tinham acesso a capital local. Na segunda onda longa, as firmas, já um pouco maiores, contavam com sociedades por ações; na terceira onda longa, a emergência da grande empresa estava associada à concentração das atividades bancárias e ao capital financeiro; na quarta onda longa, a difusão das multinacionais implica no papel dos investimentos diretos no estrangeiro e, na quinta onda longa, há referência a estruturas como mercados de capitais internos às grandes corporações. No geral, Freeman e Perez sugerem uma necessária co-evolução entre as duas dimensões, embora não a desenvolvam.

Perez (2002), por sua vez, focaliza nas diversas regularidades existentes ao longo das diversas fases em termos do que ela identifica como capital financeiro e capital produtivo, na qual ela identifica a dinâmica de sinergia e crise existente nesse relacionamento.¹⁰

A elaboração dos ciclos sistêmicos de acumulação, na medida em que absorve as contribuições de Marx e Braudel, traz implícito o papel da tecnologia na definição de sua dinâmica. A contribuição mais importante dessa elaboração está em sua ênfase na questão financeira, desenvolvida através da extensão do ciclo do capital dinheiro (D-M-D) para períodos históricos mais amplos. Arrighi (1994) reinterpreta esse ciclo a longo prazo, sugerindo a existência de uma seqüência de duas fases. A primeira, de expansão material

¹⁰ Esse trabalho é uma grande contribuição às tentativas de articular teoricamente a dimensão inovativa com a dimensão financeira, mas o seu esforço enfatiza o que se repete ao longo das ondas longas, com o destaque para as diversas formas de relacionamento entre o que ela define como capital financeiro e as atividades inovativas. A partir da existência de acoplamento e desacoplamento entre instituições ao longo das mudanças de paradigmas, Perez sugere quatro tipos de relacionamento entre o capital produtivo e o financeiro (p. 74): 1) irrupção (“love affair”); 2) frenesi (“desacoplamento”); 3) sinergia (“re-acoplamento”); 4) maturidade (“sinais de separação”). Por isso, não é o objeto de sua investigação as enormes transformações estruturais na dimensão financeira. Como Perez (2002) focaliza as regularidades no interior das fases das ondas longas, fica em aberto a questão das profundas mudanças institucionais que têm lugar entre as diferentes ondas longas, tal como parece ser a sugestão do esquema de Freeman e Perez (1988).

(que corresponderia ao D-M), na qual as condições de produção e as oportunidades de investimentos são tais, que as massas monetárias geradas no processo produtivo são continuamente reinvestidas no processo produtivo, o que permite caracterizar o país no qual tal processo está em curso como “oficina do mundo”. A segunda fase, inspirada na narrativa histórica de Braudel, seria a fase de expansão financeira, caracterizada por uma combinação entre a existência de massas monetárias amplas, geradas pelo sucesso da expansão material em curso, e o surgimento de mais dificuldades em termos de oportunidades de investimento, com perspectivas de queda do lucro no país da expansão material – superabundância de capitais e rarefação das oportunidades de investimento.

A elaboração sobre os ciclos sistêmicos não enfatiza a questão da tecnologia, embora ela esteja implícita de diversas formas, especialmente, no poderio militar associado às regiões ou aos países hegemônicos. Uma contribuição importante dessa elaboração, baseada na obra de Braudel (1986), é a apresentação de um quadro histórico que permite identificar a co-localização nos centros hegemônicos da liderança em termos científicos, tecnológicos e monetário-financeiros (Veneza-Gênova, Amsterdã, Inglaterra e Estados Unidos).

Qual a melhor integração entre essas duas abordagens? De uma forma exploratória, é possível identificar como os pontos fortes de cada uma das abordagens podem enriquecer a outra.

Por um lado, a elaboração das ondas longas pode enriquecer a elaboração dos ciclos sistêmicos de acumulação através de uma melhor articulação entre revoluções tecnológicas, emergência de novos paradigmas e transições de hegemonia. Não é difícil a associação entre novas tecnologias e as realocações dos centros líderes no capitalismo mundial. Possivelmente, há uma lógica espacial nesses movimentos, associada às “vantagens do atraso” discutidas por Gerschenkron (1952), em que se combinam o esgotamento das oportunidades de investimento no centro hegemônico e o aparecimento de novas oportunidades e novos setores em centros emergentes. As diferenças de cronologia podem ser elucidativas - pois pelo menos nos dois últimos ciclos sistêmicos de acumulação (Inglaterra e Estados Unidos), há duas ondas longas que persistem sob um mesmo centro hegemônico (Inglaterra, nas duas primeiras ondas longas; Estados Unidos, na quarta e quinta ondas longas).

Por outro lado, a elaboração dos ciclos sistêmicos de acumulação traz inúmeras contribuições para a elaboração das ondas longas, especialmente, quanto à questão monetário-financeira e a questão do poder (Estado).

Na questão monetário-financeira, são importantes as questões relativas à expansão financeira como uma fase recorrente desses ciclos e ao poder do centro hegemônico derivado da emissão do dinheiro mundial. Essas duas questões estão fortemente associadas, na medida em que o país destinatário dos capitais excedentes do centro em declínio – a expansão financeira como “sinal do outono” (Braudel, 1986, pp. 225-226) – é aquele cuja moeda se tornará o dinheiro mundial. Ou, de outra forma, a “função de banco central de compensação” é “inseparável do papel de oficina do mundo” (Arrighi e Silver, 1999, p. 72).

O diálogo entre essas duas abordagens permite requalificar as suas contribuições relativas à periodização das fases do capitalismo global.

Por um lado, à periodização inspirada nas revoluções tecnológicas é interessante integrar as mudanças no regime monetário global - a partir das mudanças no "dinheiro do mundo" - como referências para a delimitação de fases.

Por outro lado, a elaboração dos ciclos sistêmicos de acumulação pode ser enriquecida por contribuições derivadas da economia da ciência e da tecnologia, na medida em que mudanças derivadas do crescente peso da ciência na dinâmica tecnológica podem determinar uma clivagem nova entre o país que ocupa a posição de "oficina do mundo" e outro país que ocupa a posição de "laboratório do mundo". Essa clivagem, uma novidade na divisão internacional do trabalho, pode determinar um novo conjunto de possibilidades de rearranjos geopolíticos: na atual conjuntura, a emergência da China como uma nação candidata a uma posição hegemônica, como sugere Arrighi (2007), pode ser limitada pela dificuldade de conquistar a posição de "laboratório do mundo". Uma possibilidade geopolítica decorrente da crescente complexidade da economia capitalista mundial.

V- COMPLEXIDADE CRESCENTE DA ECONOMIA CAPITALISTA GLOBAL E MUDANÇAS NA DINÂMICA DAS REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS

Entre a revolução industrial e o início do século XXI, um vasto conjunto de transformações estruturais teve lugar na economia capitalista global - muitas delas, como discutido na seção anterior, em consequência das revoluções tecnológicas que se

sucederam. O resultado final é uma economia global de complexidade muito maior do que a economia que originou o primeiro *big bang* relativo à revolução industrial britânica.

Três mudanças cruciais se destacam. Em primeiro lugar, o conjunto dos centros dinâmicos impulsionadores de mudanças tecnológicas cresceu. Para além da alternância entre os países hegemônicos, basicamente a substituição do Reino Unido pelos Estados Unidos a partir da Segunda Guerra Mundial, há um conjunto de países com capacidade de gerar inovações radicais que é mais amplo, comparado com o contexto da revolução industrial britânica. Um exemplo dessa realidade mais multicêntrica é a emergência da última fase da revolução das TICs, relativa à *world.wide.web*: essa inovação radical, um pressuposto para a posterior emergência da Google, foi gestada no CERN, uma instituição européia. Em segundo lugar, a combinação de efeitos mais ou menos retardados de diferentes *big bangs* e de sua superposição trazem novos elementos para a dinâmica tecnológica e econômica. Em terceiro lugar, o crescimento e a institucionalização dos sistemas de inovação, que hoje já começam a ganhar uma dinâmica internacional - estaríamos assistindo o surgimento de rudimentos de um sistema global de inovação? -, reflete-se no total de recursos gastos em P&D globalmente - US\$ 1,4 trilhão - PPP, 2005 US\$ - em 2012 (OECD, 2014, p. 55).

Essas três mudanças sugerem a multiplicação de fontes para a inovação tecnológica e de potenciais origens de novos *big bangs*. Esse quadro talvez permita duas conjecturas relativas a uma nova dinâmica de revoluções tecnológicas. A primeira conjectura sugere que elas podem acontecer de forma mais acelerada - o timing das antigas revoluções tecnológicas, com a duração encontrada por Kondratiev e chancelada por Schumpeter no período anterior à Segunda Guerra Mundial pode estar sendo superada por essa maior complexidade da economia capitalista global contemporânea.¹¹ A segunda conjectura sugere que, dada a pluralidade de fontes potenciais de inovações radicais, mudanças podem estar ocorrendo no antigo sequenciamento de revoluções tecnológicas, pois agora elas poderiam começar a surgir simultaneamente - *big bangs* temporalmente justapostos mas espacialmente distantes (países e/ou setores diferentes na origem de inovações radicais) podem vir a se desenvolver.

¹¹ O insight dessa característica foi apresentado por Mandel (1972, p. 175), ao sugerir que "a aceleração da inovação tecnológica é um corolário da aplicação sistemática da ciência à produção".

Adicionalmente há dois elementos estruturais que impõem novas pressões sobre a dinâmica tecnológica, mais especificamente estabelecem novas demandas sobre os sistemas de inovação induzindo uma reorientação do progresso tecnológico. Por um lado, a pressão das mudanças demográficas decorrentes da ampliação da expectativa de vida - a população mundial, especialmente nos países mais avançados, está vivendo vidas mais longas, uma consequência das revoluções tecnológicas que ampliaram a qualidade de vida - determina o surgimento de novas demandas no campo da atenção médica, de novos mercados de bens e serviços para populações mais longevas, reestruturação de sistemas de bem-estar social e determina uma pressão generalizada pela elevação da produtividade do trabalho - esse um elemento central para responder a um novo cenário demográfico, dada a redução relativa da população em idade para trabalhar (Miller, 2011). Por outro lado, a pressão decorrente da necessidade de enfrentar o desafio do aquecimento global, desafio decorrente da natureza de boa parte das tecnologias de paradigmas anteriores (baseados no carvão e em combustíveis de natureza fóssil), que determinam a busca da transição para economias de baixo carbono (IPCC, 2014).

O resultado da combinação entre essas mudanças estruturais e a emergência desses poderosos dois novos fatores que pressionam por uma reorientação do progresso tecnológico é parte da conjuntura contemporânea de transição para uma nova fase do capitalismo global. Por um lado, a consolidação e abertura de novas frentes das tecnologias de comunicação - crescente ocupação de novos territórios construídos a partir da consolidação da www, espaço digital para a acumulação de capital ocupado por empresas como a Google.¹² Por outro lado, a identificação pela OECD (2014, p. 59) de "áreas de aceleração" da mudança tecnológica, que seriam "new technologies related to: 1) climate change mitigation (e.g. lighting, electric power, electric and hybrid vehicles, energy generation, batteries, motors and engines); 2) ageing, health and food security (e.g. chemistry and biotechnology); 3) information and communication management (including infrastructures for "big data" and virtual payments); 4) new manufacturing processes (e.g.

¹² Seria interessante uma elaboração que captasse os impactos de uma empresa como a Google tanto em direção a demandas para as indústrias produtoras de servidores e equipamentos que constituem a infraestrutura de funcionamento da internet e da www e em direção ao desenvolvimento de novos usos e produtos derivados da disponibilidade de informações sistematizadas por empresas que ocupam a www. Esses movimentos caracterizariam impactos semelhantes aos discutidos na seção I deste artigo, impactos que permitem a caracterização de uma revolução tecnológica.

chemistry, nanotechnology, composite materials, new materials, 3D printing and laser technology)."

Uma das características específicas da atual transição para uma nova fase do capitalismo global é exatamente a emergência de novos paradigmas tecnológicos combinada com deslocamentos geopolíticos importantes (Ribeiro et al, 2016).

Essa profusão de tecnologias com potencial para caracterizar-se como inovação radical, ao lado da persistente continuidade da revolução das TICs, prepara uma conjuntura geral na qual podem prosperar elaborações como as mencionadas na introdução deste artigo: Rifkin (2011), Brynjolfsson e McFee (2014), *The Economist* (2014) e Schwab (2016), são indicações da amplitude e abrangência das mudanças atuais - e pesquisadores da área da economia da ciência e da tecnologia podem criticamente transformar esses trabalhos em indicadores dessas mudanças. Para evitar impressionismos, o estudo sistemático da economia da ciência e da tecnologia é necessário - e essa a contribuição do conjunto deste livro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRITTON, R.; ITOH, M.; WESTRA, R. ZUEGE, A. (eds) (2001) Phases of capitalist development: booms, crises and globalization. New York: Palgrave.
- ARRIGHI, G. (1994). *O longo século XX: dinheiro, poder e as origens do nosso tempo*. Rio de Janeiro/São Paulo: Contraponto/Unesp (1996).
- ARRIGHI, G. . *Adam Smith in Beijing: lineages of the twenty-first century*. London: Verso, 2007.
- ARRIGHI, G.; SILVER, B.J. (1999). *Caos e governabilidade no moderno sistema mundial*. Rio de Janeiro: Contraponto/UFRJ (2001)
- BRAUDEL, F. (1986). *Civilização material, economia e capitalismo - séculos XV-XVIII.: Volume 3 - O tempo do mundo*. São Paulo: Martins Fontes (1996).
- BRYNJOLFSON, E.; McAFEE, A. (2014). *The second machine age: work, progress and prosperity in a time of brilliant technologies*. New York: W. W. Norton & Company, Inc.
- CORRADO, C.; HULTEN, C. (2010) How to measure a "technological revolution". *American Economic Review*, v. 100, n. 2, pp. 99-104.
- DELBEKE, J. (1981) Recent long-wave theories: a critical survey. *Futures*, v. xxx, n. xxx, pp. 246-257.
- FORRESTER, J. W. (1977) Growth cycles. *De Economist*, v. 125, n. 4, pp. 525-543.

- FREEMAN, C. (1977) The Kondratiev long waves, technical change and unemployment. In: OECD. *Structural determinants of employment and unemployment*. vol. 2, Paris: OECD, pp. 181-196.
- FREEMAN, C. (ed.) (1983) *Long waves in the world economy*. London: Frances Pinter (Publishers) Ltd.
- FREEMAN, C. (1994) Critical survey: the economics of technical change. *Cambridge Journal of Economics*, v. 18, n. 5, pp. 463-514.
- FREEMAN, C. (1996). The greening of technology and models of innovation. *Technological Forecast and Social Change*, v. 53, pp. 27-39.
- FREEMAN, C.; PEREZ, C. (1988) Structural crisis of adjustment: business cycles and investment behaviour. In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R.; SILVERBERG, G.; SOETE, L. (eds). *Technical change and economic theory*. London: Pinter, 1988, p. 38-66.
- FREEMAN, C.; SOETE, L. (1997) *The economics of industrial innovation*. London: Pinter.
- FREEMAN, C.; LOUÇÃ, F. (2001) *As time goes by: from the industrial revolutions and to the information revolution*. Oxford: Oxford University.
- GRÁDA, C. O. (2016) Did science cause the Industrial Revolution? *Journal of Economic Literature*, v. 54, n. 1, pp. 224-239.
- GERSCHENKRON, A. (1952). *Economic backwardness in historical perspective*. Cambridge: Harvard University, 1962.
- GORDON, R. (2016) *The rise and fall of American growth: the US standard of living since the Civil War*. Princeton/Oxford: Princeton University Press.
- HELPMAN, E. (ed.). *General purpose technologies*. Stanford: Stanford University, 1998.
- JACOB, M. (2014) *The first knowledge economy*. Human capital and the European economy, 1750-1850.
- KONDRATIEV, N. D. (1926a) The Long Waves in Economic Life. *Review* (Fernand Braudel Center), v. 2, n. 4 (Spring, 1979), pp. 519-562.
- 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.
- KONDRATIEV, N. D. (1928) La dynamique des prix des produits industriels et agricoles. In: *Les grands cycles de la conjoncture*. Édition présentée par Louis Fontvielle. Paris: Economica (1992), pp. 377-492.
- LOUÇÃ, F. (1999) Nikolai Kondratiev and the early consensus and discussions about history and statistics. *History of Political Economy*, v. 31, n. 1, pp. 169-205.
- MANDEL, E. (1972) *O Capitalismo Tardio*. São Paulo: Abril Cultural, 1982.
- MANDEL, E. (1995). *Long waves of capitalist development: the Marxist interpretation*. Cambridge: Cambridge University Press, Second Edition.
- MARX, K. (1867) *O Capital*. Volume I. São Paulo: Abril Cultural, 1984.

- MENSCH, G. (1975) *Das technologische Patt: Innovationen überwinden die Depression*. Frankfurt: Umschau Verlag.
- MILLER, T. (2011) The rise of the intergenerational state: aging and development. In: LEE, R.; MASON, A. *Population aging and the generational economy*. Cheltenham/Ottawa: Edward Elgar/IDRC, pp. 161-184
- MOKYR, J. (1990) *The lever of riches: technological creativity and economic progress*. Oxford: Oxford University Press.
- OECD (2014), *OECD Science, Technology and Industry Outlook 2014*, OECD Publishing. http://dx.doi.org/10.1787/sti_outlook-2014-en
- PEREZ, C. (2002) *Technological revolutions and financial capital*. Cheltenham: Edward Elgar.
- PATEL, P.; PAVITT, K. (1994) The continuing, widespread (and neglected) importance of improvements in mechanical technologies. *Research Policy*, v. 23, p. 533-545.
- PEREZ, C.. *Technological revolutions and financial capital*. Cheltenham: Edward Elgar, 2002.
- PEREZ, C. (2010) Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, v. 34, n. 1, pp. 185-202.
- PESCIARELLI, E. (1989) Smith, Bentham, and the development of contrasting ideas on entrepreneurship. *History of Political Economy*, v. 21, n. 3, pp. 521-536.
- RIBEIRO, L. C.; ALBUQUERQUE, E. (2016) Countertendencies at work: new sectors and new regions in the current transition towards a new phase of capitalism. *Science and Society*, v. 80, n. 4 (forthcoming).
- RIFKIN, J. (2011) *The third industrial revolution: how lateral power is transforming energy, the economy and the world*. New York: St. Martin's Griffin.
- ROSENBERG, N. (1976) *Perspectives on technology*. Cambridge: Cambridge University.
- ROSENBERG, N. (1976) Marx as a student of technology. In: *Inside the black box: technology and economics*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 34-51 (1982).
- ROSENBERG, N. . *Inside the black box: technology and economics*. Cambridge: Cambridge University 1982.
- ROSTOW, W. W. (1975) Kondratieff, Schumpeter and Kuznets: trend periods revisited. *The Journal of Economic History*, v. 35, n. 4, pp. 719-753.
- SCHUMPETER, J. (1911) *A teoria do desenvolvimento econômico*. São Paulo: Nova Cultural, 1985.
- SCHUMPETER, J. (1939) *Business cycles: a theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process*. Philadelphia: Porcupine, 1989.
- SCHUMPETER, J. (1942) *Capitalismo, socialismo e democracia*. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1984.
- SCHUSTER, J. (1990) The scientific revolution. In: OLBY, R. C. *Companion to the history of modern science*. London: Routledge. pp. 217-242.

SCHWAB, K. (2016) *The fourth industrial revolution*. Cologny/Geneva: World Economic Forum.

SUPRINYAK, C. E. (2009) Torricelli, energia a vapor e o sentido tecnológico da revolução científica. *Revista de Economia Política*, v. 29, pp. 302-318.

THE ECONOMIST (2014). The third great wave: a special report on world economy. October, 4, 2014 (Available in <http://www.economist.com/specialreports/>)