

O progresso tecnológico e seus efeitos sobre a dinâmica do modelo de produção capitalista

Technological progress and its effects on the dynamics of the capitalist production model

Luiz Augusto Hayne

Resumo

O presente trabalho tem, como objetivo, uma análise reflexiva da inovação tecnológica como indutora do desenvolvimento social e econômico, propondo um modelo teórico que represente a prática das modernas economias. As razões que sustentam o estudo baseiam-se na afirmação de que a tecnologia, por servir aos interesses do sistema dominante, é fundamental, no contexto, pois permitiu ao progresso econômico (quantitativo) uma relevância sobre o progresso social (qualitativo). Além disso, a variável tecnológica passou de um meio de se alcançar o progresso social, para um fim em si mesma, provocando um movimento mundial em torno da necessidade da capacitação tecnológica, em nome do desenvolvimento. Os resultados apontaram para o esgotamento do modelo representativo proposto e que foi amplamente explorado até finais do século XX, devido ao aparecimento de um círculo vicioso entre os progressos tecnológico e econômico, para garantia das taxas de crescimento necessárias à manutenção da dominação capitalista. As conseqüências da sua adoção e as causas do seu esgotamento (do modelo) são marcadas pela degradação do meio ambiente tiveram repercussões em nível global e fizeram emergir a necessidade de um novo modelo de desenvolvimento, sustentável e equitativo, nas últimas décadas do último século. A metodologia adotada foi uma ampla pesquisa bibliográfica sobre o tema “tecnologia e desenvolvimento” para fundamentação do modelo teórico e um estudo econométrico para sustentação empírica dos resultados. As conclusões empíricas confirmaram a tese central do estudo, vinculada ao aparecimento do círculo vicioso que determinou o esgotamento do modelo capitalista proposto.

Palavras-chave: Produção capitalista. Inovação tecnológica. Desenvolvimento sustentável. Tecnologia e desenvolvimento.

Abstract

The main objective of this paper is to make a reflexive analysis (both theoretical and empirical) about technological innovation as a means of social and economic development. It proposes a model that represents the practices of modern economies. The reasons behind the study are based on the statement that the technology, for serving to the interests of the dominant system, is the key element in this context, since it allowed the dominance of the economical progress (quantitative) over the social progress (qualitative). Moreover, the technology went from a means of reaching the social progress to become an end in itself, stimulating a world movement around the need of the technological training on behalf of the development. The results caused the exhaustion of this model that was thoroughly used up to the end of the 20th century. due to the emergence of a vicious circle among the technological and economical progresses which warranted the necessary growth taxes to the maintenance of the capitalist dominance. The consequences of model adoption and the causes of its exhaustion are marked by the degradation of the environment, with implication at global level. These facts required a new sustainable and equitable model of development by the end of the last century. The adopted methodology was a wide bibliographical research on the theme “technology and development to serve as a background for the theoretical model and a econometric study for empiric tests of the results. The empiric conclusions confirmed the central theory of the study, linked to the emergence of the vicious circle that determined the exhaustion of the proposed capitalist model.

Keywords: Capitalist production. Technological innovation. Sustainable development. Technology e development.

Introdução

Há muito a tecnologia, enquanto um conjunto de conhecimentos, é vista como uma fonte de novos produtos e processos que propiciam o bem estar e a satisfação de nossas necessidades.

De maneira informal e pouco observável, foi a partir da Revolução Industrial na Inglaterra do século XVIII, que ela se transformou em um dos pilares das idéias econômicas, que vislumbravam na liberdade individual e na dominação da natureza pelo homem, a origem de benefícios sociais.

• Analista em C&T do CNPq, mestre em Desenvolvimento Sustentável pelo Centro de Desenvolvimento Sustentável/UnB e professor universitário de várias disciplinas de economia.

Artigo apresentado no XXII Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica, realizado pelo Núcleo de Política e Gestão Tecnológica da Universidade de São Paulo, em Salvador-BA, de 8 a 11 de novembro de 2002.

Entretanto, a partir da Segunda Guerra Mundial, a tecnologia ganhou relevância e, de forma explícita e deliberada, constituiu-se como uma demanda global, tanto para a adequação do mundo à nova realidade do pós-guerra, como para a consolidação do modo de produção capitalista, na tentativa de recuperação dos efeitos negativos da crise que quase o extinguiu¹. Existem duas visões que procuram determinar, no tempo, a evolução da tecnologia, no papel de indutora do crescimento da empresa industrial: a tecnologia como variável exógena, entre 1890 e 1945, e como variável endógena, depois da Segunda Guerra Mundial (Chandler, 1990 *apud* Cassiolato e Hasenclever, 1998).

Nesse contexto, a tecnologia tornou-se um meio de alcance do crescimento econômico, uma preocupação permanente do sistema capitalista, por formar as bases fundamentais do paradigma técnico-econômico. Portanto, a característica endógena da tecnologia se tornou marcante².

Os fatos acima descritos levaram a uma forte aproximação da tecnologia e do crescimento econômico que passaram a representar os fins, em vez dos meios, nos planos que visavam o aumento do bem estar geral da sociedade, dando início a uma fase em que o progresso tecnológico e o econômico tornaram-se indissociáveis.

Essas considerações levam a uma análise do modelo de desenvolvimento da sociedade ocidental, baseada no entendimento de que o progresso tecnológico é considerado como forte indutor do desenvolvimento das nações ricas e, assim, leva as nações subdesenvolvidas a adotarem o mesmo modelo, na esperança de lograrem este mesmo patamar.

Em pouco tempo, porém, os efeitos dessa forte associação foram sentidos negativamente em sistemas sensíveis, como o ecológico e o social, que estão na base da estrutura que promove a sustentabilidade da vida em nosso planeta.

Entender a lógica capitalista em que os progressos tecnológico e econômico representam a base de sustentação desse sistema, é entender também as razões que levaram ao esgotamento do referido modelo e que justificam a reorientação do modo de produção dominante, para a busca de uma nova relação do homem com a natureza e com o próprio homem. Tal atitude se opõe à prática dominante da degradação ambiental em nível global.

O presente trabalho objetiva realizar um estudo que proporcione a reflexão sobre o papel da tecnologia e sua implicação sobre o processo de desenvolvimento da sociedade ocidental, que adota o modo de produção capitalista. Especificamente será proposto um modelo de desenvolvimento que tenha na inovação tecnológica (progresso tecnológico) a indutora de um processo de desenvolvimento, atendendo aos interesses do paradigma técnico-econômico. Serão identificadas, a partir da análise de sua dinâmica, as razões que levaram ao seu esgotamento, tendo em vista, principalmente, os efeitos negativos sobre o meio ambiente. Além disso, será realizado um estudo empírico para sustentação das principais conclusões discutidas no modelo teórico proposto, a partir da identificação e análise das relações entre indicadores de sustentabilidade selecionados.

Como metodologia de trabalho será realizada uma pesquisa bibliográfica para formulação do modelo e um estudo econométrico para comprovação dos resultados teóricos apresentados. Serão utilizados os seguintes indicadores de sustentabilidade: produto interno bruto e produto interno industrial bruto (econômicos), patentes concedidas a residentes (tecnológico) e emissão de dióxido de carbono na atmosfera (ambiental), no período entre 1980 e 1999³.

1 Formulação e apresentação do modelo teórico de desenvolvimento

Considerando o processo de geração de inovação tecnológica como o ponto de partida para o bem estar social e material da moderna sociedade, torna-se primordial entender o modelo teórico de desenvolvimento (Fig. 01) que apresenta os seguintes pressupostos:

- a) O paradigma técnico-econômico é o dominante, tendo o caráter econômico e o tecnológico como os vetores determinantes das atividades implementadas durante o processo.
- b) Apesar da análise considerar apenas a inovação tecnológica como ponto de partida ao desenvolvimento, isso não quer dizer que somente ela é a responsável pelos resultados esperados, mas que, para os objetivos deste estudo, ela é a indutora de todo o processo.
- c) O modelo considera a abordagem sistêmica aberta, onde os agentes envolvidos interagem e o fluxo de informação é de fundamental importância para o modelo.
- d) As idéias neoliberais apoiadas na desregulamentação dos mercados são aceitas, o que leva a uma reformulação do papel do Estado na relação com os demais agentes do sistema.

Em uma visão geral, o modelo está dividido em três campos ou subsistemas, que se referem aos principais setores responsáveis pelo seu dinamismo. Cada campo considerado (tecnológico, econômico e social) é responsável por uma etapa do processo e, por isso, dentro de cada campo, os atores envolvidos são orientados por políticas específicas e gestões setoriais, para um melhor desempenho dentro de cada objetivo parcial.

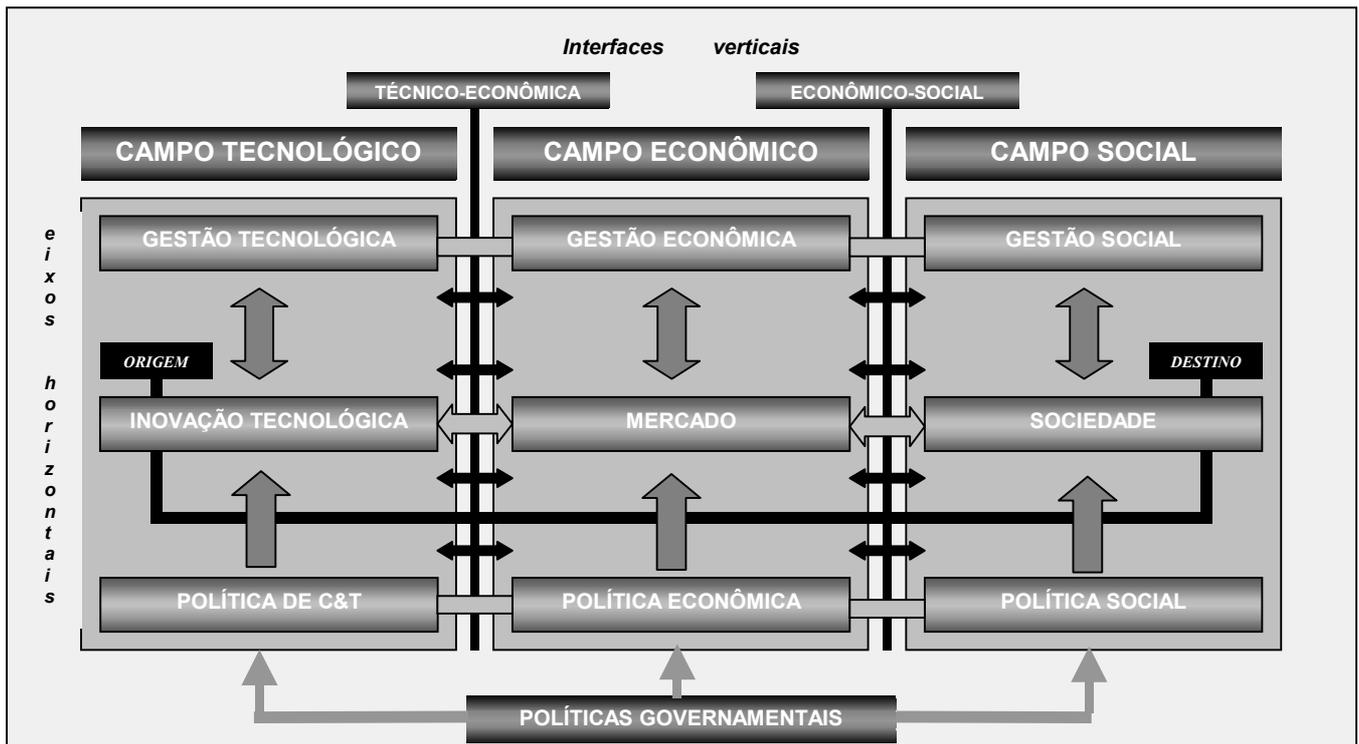


Figura 1. Modelo teórico de desenvolvimento

Campos

Nos campos, a atividade de gestão tem característica endógena, na medida em que ela influencia e é influenciada pelos resultados alcançados em cada campo. As políticas, por outro lado, atuam de forma exógena, de maneira que cada política setorial influencia, mas não é influenciada por esses resultados, o que demonstra o poder normativo e regulador instituído ao Estado.

No **campo tecnológico** (subsistema de C&T), tem-se uma política científica e tecnológica que orienta as atividades de geração de inovações tecnológicas e uma gestão tecnológica que procura viabilizar e otimizar esse processo.

No **campo econômico** (subsistema econômico), tem-se uma política voltada para a melhoria dos indicadores macroeconômicos, como o aumento do produto nacional, da renda per capita, do emprego, do comércio exterior entre outros, e uma gestão econômica orientada para a otimização do desempenho econômico. O mercado representa o foco de todas as atividades de gestão e de política econômica, atendendo o modelo neoliberal da liberdade na relação entre oferta e demanda.

No **campo social** (subsistema social), tem-se o resultado do processo de geração de inovações tecnológicas, que deve se converter em melhorias das condições sociais, através do progresso econômico. A política social, voltada para conversão dos ganhos econômicos em benefícios sociais, deve orientar a gestão social para o alcance do bem estar geral.

Desta forma, na análise geral do modelo, observam-se objetivos e recursos setoriais para obtenção de resultados parciais, dentro do objetivo maior de desenvolvimento econômico e social. É o caráter sistêmico que viabiliza as inter-relações de todo o processo, ou seja, internas (em cada campo) e externas (entre os campos).

Eixos e Interfaces

Os eixos horizontais permitem estabelecer as relações no interior de cada campo pelo fluxo de informações verticais, viabilizando os resultados parciais. As interfaces verticais são necessárias para que haja a interação entre os campos pelo fluxo de informações horizontais e, assim, permitir que os resultados parciais, em cada campo, sejam convertidos em um único processo.

Em suma, os eixos horizontais permitem as interações verticais (em cada campo) e as interfaces verticais, permitem-nas de forma horizontal (entre os campos). Esse funcionamento permite que o modelo atinja os seus propósitos tendo a inovação tecnológica como origem do processo de desenvolvimento.

Eixos horizontais

Primeiro eixo secundário: gestões setoriais

O primeiro eixo secundário apresenta as gestões tecnológica, econômica e social, para garantia da eficiência, eficácia e efetividade do processo.

A **gestão tecnológica** apóia-se nos fatores que orientam a estratégia tecnológica a ser seguida, não somente no caráter da atividade de pesquisa e desenvolvimento (P&D), mas em todas as fases do processo inovativo, estabelecendo um elo permanente entre produtores, vendedores e consumidores.

A **gestão econômica** atua para lograr um melhor desempenho econômico. Ela enfatiza o aspecto quantitativo da riqueza nacional, em uma economia de mercado onde a relação entre as forças de oferta e demanda se estabelece harmoniosamente.

A liberdade, como característica do modelo neoliberal, proporciona ao mercado uma ingerência pela não intervenção do Estado na economia, que só é admitida nas chamadas “falhas de mercado”, colocando-o em uma atuação secundária, mas indispensável para o funcionamento do sistema econômico.

A **gestão social** preocupa-se com o aspecto qualitativo e tem na sociedade a principal justificativa de sua atuação. Ela deve se preocupar em transformar a riqueza do campo econômico em qualidade de vida, que é o principal objetivo do processo. Uma gestão social requer dos agentes envolvidos um amplo conhecimento das reais aspirações e desejos da sociedade e do funcionamento da economia nacional.

Segundo eixo secundário: políticas governamentais

Este eixo está relacionado com a nova postura do Estado, na condição de regulador, fiscalizador, coordenador e normatizador do sistema, de maneira a garantir os direitos e impor os deveres, harmonizando e uniformizando todas as atividades. As políticas públicas, dentro de cada campo, orientam os agentes e regulam as atividades que, em última instância, proporcionam o sucesso da política nacional de desenvolvimento.

A **política científica e tecnológica** deve orientar a geração de inovações, conforme a realidade do país e no uso eficiente dos recursos disponíveis. A estratégia é que a geração autóctone e a importação de tecnologias possam se transformar em novas tecnologias.

A **política econômica** deve conceder aos agentes econômicos as orientações para a formação da riqueza nacional. Ela determina as diretrizes econômicas para tornar o sistema econômico dinâmico.

A **política social** deve orientar as ações para diminuição das desigualdades sociais, o fim da pobreza, da fome, das doenças, dando aos cidadãos, sem restrições ou discriminações, uma qualidade de vida superior.

O eixo das políticas indica a atuação ativa do Estado, no processo, e estabelece uma participação governamental aparente e fundamental para o modelo.

Eixo principal: geração de inovações tecnológicas na origem do processo de desenvolvimento

Este é o principal eixo do modelo, pois representa o próprio processo de desenvolvimento em estudo, onde, na origem, busca-se a geração de novas tecnologias para atingir, no destino, o desenvolvimento social.

Com a consolidação do paradigma técnico-econômico, a empresa torna-se o centro do processo de geração de novas tecnologias e a base do sistema capitalista. O mercado representa a ponte entre as inovações tecnológicas e o desenvolvimento social através do crescimento econômico.

Deve-se destacar neste ponto que, embora seja necessário o mercado como intermediação entre a origem (inovação tecnológica) e o destino (sociedade), não está se considerando o modelo dos estágios de desenvolvimento, adotado, no passado, para a superação do atraso das economias latino-americanas⁴.

A partir da difusão das inovações, ocorre o progresso econômico e a sociedade é beneficiada, de forma geral e irrestrita, com os ganhos advindos do processo de desenvolvimento (qualidade de vida pelo aumento da renda per capita e da infra-estrutura social: habitação, saúde, segurança, emprego, educação, saneamento, transporte e lazer, entre outros).

De forma geral, o eixo das gestões proporciona a operacionalidade do modelo; o eixo das políticas representa sua orientação e, por fim, o eixo de geração da inovação, visando ao desenvolvimento, justifica ambos, confundindo-se com o próprio processo de desenvolvimento.

Interfaces verticais

Para se entender a importância das interfaces verticais, faremos uma analogia entre o modelo e uma corrente. Cada campo do

modelo é representado por um elo de uma corrente e o processo de desenvolvimento estudado é representado pela própria corrente. Os elos, isoladamente, não têm utilidade, mas ao conectá-los, formam uma corrente, proporcionando-lhes funcionalidade. Analogamente, os campos isolados no modelo perdem sentido por representarem apenas etapas de um processo maior. A função integralizadora das interfaces verticais permite transformar os resultados parciais (elos) em um único (corrente), que está relacionado com os propósitos do modelo.

As relações entre os campos, através das interfaces verticais, permitem tornar únicos os processos realizados isoladamente, dentro dos campos do modelo.

Portanto, o campo tecnológico gera as inovações; o campo econômico as absorve e transforma-as em resultados quantitativos; e o campo social, onde as inovações devem se transformar em ganhos qualitativos, por meio do progresso econômico; atua para alcançar o desenvolvimento social.

Primeira interface vertical: técnico-econômica

Essa interface permite a interação dos campos tecnológico e econômico, não apenas para direcionar os produtos gerados pelo processo de inovação para o mercado, mas para auxiliar, também, no fluxo de informações entre os dois campos. Esse fluxo aumenta a dinâmica do processo de inovação e contribui para a geração de novas tecnologias, a partir dos mecanismos *science-push* (oferta de tecnologias) e *demand-pull*, (demanda de tecnologias)⁵. Nesse momento, fecha-se o primeiro elo denominado técnico-econômico.

Segunda interface vertical: econômico-social

Essa estabelece a interação dos campos econômico e social. Por meio das políticas sociais, socializam-se os ganhos advindos do progresso econômico, de maneira a eliminar, nos países pobres, as condições de subdesenvolvimento e de manter, nos países ricos, os níveis de desenvolvimento. Fecha-se, assim, o segundo elo, denominado econômico-social.

A característica sistêmica integra as duas interfaces e os três eixos, criando a dinâmica fundamental para eliminação da linearidade do processo de geração das inovações. O fluxo de informações corre em todos os sentidos, caracterizando a harmonia global do modelo, que é vista como condição necessária ao seu funcionamento e uma característica marcante da atual sociedade do conhecimento.

2 Explicações para o esgotamento do modelo

De acordo com o descrito na seção anterior, é no eixo principal da geração de inovações tecnológicas na origem do processo de desenvolvimento, onde acontece todo o processo que justifica a adoção do modelo apresentado. Por isso, é esse eixo que terá, a partir de agora, a atenção necessária para o atendimento dos objetivos do presente trabalho.

No modelo apresentado, observa-se que, a partir dos eixos horizontais e das interfaces verticais, o campo econômico funciona como “ponte” que viabiliza a ligação entre as novas tecnologias e o desenvolvimento social. O paradigma técnico-econômico legitima o campo econômico como a principal artéria de ligação da origem até o destino do processo inovativo, ou seja, da geração de novas tecnologias até o bem estar social.

Com a dominação do sistema capitalista, que prioriza a acumulação do capital e reconhece a tecnologia como preponderante à manutenção dessa dominação, verifica-se uma relação indissociável entre tecnologia e crescimento econômico. Para Cassiolato e Hasenclever (1998), “a capacidade de lançar novos produtos, de reduzir o tempo de comercialização dos novos produtos e a capacidade de reduzir os custos de produção requerem altos investimentos em P&D, e determinam, em grande medida, o sucesso competitivo, principalmente das indústrias intensivas em tecnologia”. Essa relação cria dois fenômenos ligados à demanda e à oferta de novas tecnologias que substituem os dois mecanismos tradicionais (*science push* e *demand pull*) de geração de inovações.

Pelo lado da demanda, há a ocorrência do *consumption-necessity* (necessidade de consumo) para atendimento das necessidades puramente econômicas, em uma visão materialista e consumista de curto prazo, na relação capitalista produção-consumo. Esse fenômeno substitui o *demand-pull* (puxado pela demanda), que explica a demanda por inovações tecnológicas advindas do mercado para a melhoria da qualidade de vida, para maior longevidade da população e para a globalização de gostos e preferências, que caracterizam, na essência, uma demanda social. O *consumption-necessity* marca o atual estágio da sociedade moderna, voltado para o consumismo exacerbado como indicador de qualidade de vida.

Pelo lado da oferta, ocorre o *innovation-pressure* (pressão da inovação), onde a tecnologia passa a ser a responsável pelo aparecimento de novas tecnologias, confirmando o seu caráter endógeno. A afirmação de que o processo de desenvolvimento está muito associado à acumulação de tecnologia antigas e novas (Dosi, 1997) reforça o efeito do fenômeno considerado.

A ciência, por meio do *science-push* (empurrado pela ciência) que, na fase anterior a esses efeitos é a responsável pelo aparecimento das novas tecnologias, perde em importância no processo de geração de inovação tecnológica, deixando para a própria tecnologia, a responsabilidade por essa oferta⁶. Para muitos estudiosos, há uma opinião comum entre cientistas “duros” e “sociais” de que os resultados econômicos da pesquisa, principalmente a básica, são incertos e demandam um longo prazo (Erber, 1981). Ainda nessa linha de pensamento, muitos autores, como Freeman (1987), Nonaka e Takeushi (1997) e Rosemberg (1992), advogam por uma mudança na natureza das atividades de C&T, em referência ao acúmulo de tecnologia em oposição ao regime do *science based*.

As razões, para isso, baseiam-se na afirmação relacionada à visão do curto prazo que se faz presente no meio produtivo da sociedade moderna. Os investimentos para o progresso científico, em detrimento ao progresso tecnológico, além de serem elevados, não garantem o retorno desejável em curto prazo, caso ocorra.

Além disso, o rápido progresso tecnológico permitiu a auto-sustentação no processo inovativo, o que nos permite afirmar que a própria tecnologia já é capaz de gerar mais tecnologias.

O dinamismo tecnológico que provoca a obsolescência precoce de tecnologias ainda em uso é suficiente para garantir a sustentação do crescimento econômico, convergindo para a racionalidade econômica. Esta atua com invejável habilidade na avaliação dos custos de oportunidade envolvidos no processo de acumulação do capital, ou seja, o investimento em tecnologia é mais rentável do que em ciência.

Fica uma sensação de que está em curso um processo de dominação, pois a tecnologia invadiu o nosso cotidiano e, com isso, criou uma relação de dependência que se traduz na incapacidade do homem de se desvincular dos “benefícios” advindos do progresso tecnológico. Essa dependência é reforçada pelo poder que a tecnologia tem de não só satisfazer necessidades, mas criar novas necessidades⁷ ou, ainda, de gerar novos produtos de valor agregado que são sub-utilizados, aumentando a relação custo/benefício de quem os demanda. Assim, tais produtos favorecem os rendimentos econômicos de quem os produz sem, contudo, aumentar o bem estar de quem os consome⁸.

Diante desse quadro as seguintes questões merecem reflexão no sentido de uma *reavaliação da importância da tecnologia*, não só para o desenvolvimento econômico e social, mas para o desenvolvimento do próprio homem: Qual seria o papel da ciência, como campo de exploração humana, em um mundo dominado por máquinas? Qual seria a utilidade da ciência em um ambiente em que a tecnologia, por si só, é suficiente para a sua auto-geração? Qual é a importância do progresso científico em um mundo onde o progresso tecnológico garante as taxas de crescimento econômico necessárias à manutenção do sistema dominante?

Por fim, para o sistema capitalista, não há sentido que ciência, de um lado e, sociedade, do outro, interfiram no processo de geração de inovações tecnológicas. Isso levaria a uma reconsideração do modo de produção que deveria incluir, pelo lado da ciência (oferta) o longo prazo e, pelo lado da sociedade (demanda), o reconhecimento do caráter social sobre o econômico, o que vai contra a lógica capitalista.

Os fenômenos *consumption-necessity* e *innovation pressure* identificados no processo de geração de inovações tecnológicas se vinculam à sociedade pós-industrial, que utiliza o progresso tecnológico na sua base de sustentação.

A Figura n. 2, a seguir, demonstra como os efeitos da relação indissociável entre tecnologia e mercado incidiram sobre o eixo principal do modelo de desenvolvimento.

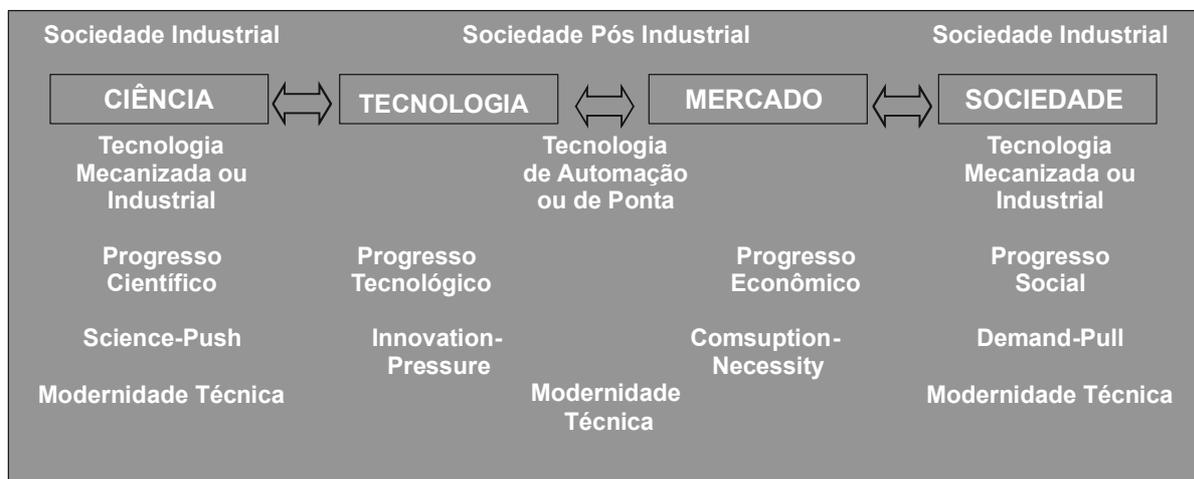


Figura n. 2. Efeitos da relação tecnologia-mercado no eixo de geração de inovação tecnológica⁹

O momento inicial do aparecimento dos fenômenos é verificado na mudança da fase da tecnologia mecanizada ou industrial, para a de automação ou de ponta¹⁰. Essa transição ocorreu na chamada Terceira Revolução Industrial ou Tecnológica, que alterou radicalmente as formas de produção após o aparecimento do *chip* e dos circuitos integrados, que possibilitaram processos produtivos automatizados.

Com isso, o progresso científico responsável pelo *science-push*, e o progresso social vinculado ao *demand-pull*, foram substituídos pelo *innovation-pressure* e pelo *consumption necessity* no processo de geração de novas tecnologias, como consequência da dinâmica do sistema capitalista. Apenas o progresso tecnológico e o progresso econômico se legitimaram como demandas efetivas no processo de desenvolvimento.

Observa-se, ainda, que, nas fases da tecnologia mecanizada ou industrial e da tecnologia de automação ou de ponta, a modernidade técnica (Buarque, 1991) apresenta-se como uma característica que está vinculada ao sistema produtivo dominante, confirmando a importância da tecnologia para a estrutura que teve início na Revolução Industrial, quando ficou superada a fase da tecnologia artesanal ou manufatureira.

Os efeitos descritos acima podem ser verificados na Figura 3 a seguir, a qual representa o eixo principal do modelo. Observa-se que ciência e tecnologia fazem parte do campo tecnológico, mercado do campo econômico e sociedade do campo social.

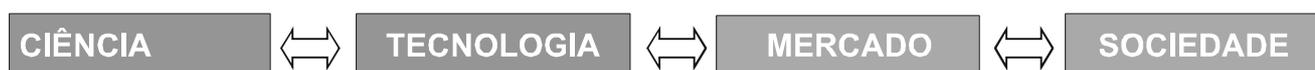


Figura 3. Eixo de geração de inovação tecnológica amplo



Figura 4. Eixo de geração de inovação tecnológica restrito

A nova configuração do eixo (Figura n. 4) observado depois da exclusão das duas extremidades, demonstra que o paradigma dominante impôs ao processo de geração de inovação voltado para o desenvolvimento, duas consequências:

- a) *a redução da abrangência do eixo*: verificada pela perda relativa de importância das descobertas científicas na oferta tecnológica e da sociedade na demanda tecnológica. São justificados apenas os esforços orientados do progresso tecnológico para as demandas de mercado, de consumo, de satisfação material, como primordiais ao funcionamento do sistema. É a ocorrência dos fenômenos *innovation-pressure* e *consumption-necessity*.
- b) *a redução da dimensão temporal*: na versão ampla da Figura n. 3, o longo prazo é o horizonte de tempo necessário ao processo de geração de novas tecnologias voltado ao desenvolvimento social. Os resultados científicos efetivos que impulsionam as novas tecnologias, por um lado, e a absorção, pela sociedade, das inovações geradas nesse mesmo processo, por outro, necessitam de um longo período de maturação. Na versão restrita da Figura 4, o curto prazo é o objetivo do mercado, pois suas características exigem retorno imediato de inversões produtivas. Isso justifica os altos investimentos despendidos em todas as fases do processo de inovação que, adicionalmente, já é capaz de se auto-sustentar a partir de tecnologias geradas previamente.

Em resumo, tem-se a relevância técnico-econômica subordinando, à relevância científico-social determinada pela predominância do centro do eixo principal, o qual orienta todas as atividades de um plano de desenvolvimento.

Cria-se, portanto, um círculo vicioso da relação tecnologia-mercado (Figura n. 5), que determina todas as relações sociais, culturais, econômicas, políticas, ambientais e institucionais. Esse círculo é visto como força-motriz de todas as ações, independentemente das reais aspirações e necessidades que norteiam a sociedade e está apoiado na verdade determinada pelo paradigma técnico-econômico, que ressalta a tecnologia e o poder econômico, como elementos-chave do sistema capitalista.

A relação entre tecnologia e mercado deve ser redesenhada para demonstrar o funcionamento do círculo vicioso, gerado pelo modo capitalista de produção.

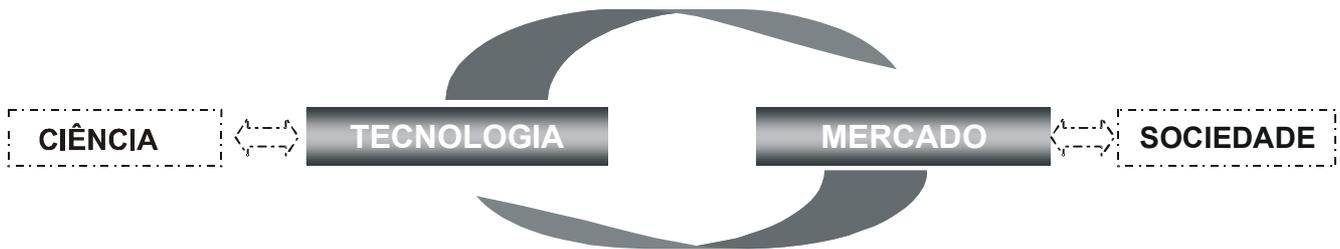


Figura n. 5. Círculo vicioso gerado pela relação tecnologia-mercado

O princípio básico de funcionamento deste círculo mostra que as inovações são geradas, visando o mercado. Por sua vez, o mercado gera os rendimentos econômicos que garantem às empresas as margens de lucro, que estimularão a produção de mais tecnologias que, novamente, serão direcionadas ao mercado, realimentando o processo.

Esse movimento circular não pára, e caracteriza o comportamento endógeno da capacitação tecnológica em nome de um desenvolvimento que, na teoria, deveria ter o progresso social como meta mas que, na prática, é o progresso econômico que se apresenta como principal objetivo. É na *tese do círculo vicioso* que se assenta o fracasso do modelo de desenvolvimento adotado a partir da metade do último século.

Dois grupos constituíram os demandantes desse modelo e duas situações foram geradas por sua adoção, o que marcou, definitivamente, o seu esgotamento. O primeiro inclui os países ricos que lograram, influenciados por condicionantes históricos, sucesso nos objetivos econômicos e sociais, porém, às custas da degradação ambiental, sendo esta a principal causa do fracasso do modelo. Portanto, não adiantaria acumular riqueza sem um meio ambiente saudável, para usufruí-la. A tese do círculo vicioso, nessa primeira situação, semeou a prosperidade, mas plantou a incerteza.

O segundo grupo concentra os países subdesenvolvidos que, pelo atraso histórico e cultural, não conseguiram atingir o mesmo nível de progresso alcançado pelas nações ricas. Surge assim, uma total dependência econômica e tecnológica que obriga estas sociedades sujeitarem-se às imposições e interesses do mundo rico e industrializado. Para Erber (1981),

[...]o melhor que os governos dos países periféricos podiam fazer em termos de política científica e tecnológica era propiciar um adequado funcionamento das forças de mercado, deixando que estas, à mercê da divisão internacional do trabalho, desenvolvessem, na medida de suas necessidades, a capacidade científica e tecnológica local que, algum dia, seria semelhante por um processo de evolução "natural", à dos países desenvolvidos.

O modelo fracassou por fortalecer uma situação de fragilidade. Portanto, a tese do círculo vicioso, nessa segunda situação, não promoveu a prosperidade, mas fortaleceu o subdesenvolvimento e a desigualdade.

São essas constatações de caráter teórico que resumem a situação atual do mundo moderno e reforçam a tese do círculo vicioso, fazendo emergir a necessidade de alternativas que possam mudar o rumo dos acontecimentos, para garantia da continuidade da vida no planeta, com igualdade, justiça, ética e respeito humano.

3 Fundamentação empírica dos resultados

Esta seção tem como objetivo o estudo de indicadores que possam confirmar a tese do círculo vicioso, levantada na seção anterior e que foi a responsável pelo esgotamento do modelo teórico de desenvolvimento proposto. Será feita uma análise empírica com o uso de indicadores de desenvolvimento sustentável elaborados pela Organização das Nações Unidas – ONU.

A metodologia inclui uma análise econométrica a partir de funções matemáticas que mostrem as relações entre as variáveis escolhidas. Serão utilizados os dados referentes aos Estados Unidos da América, por entender que essa nação é a principal representante do modo de produção capitalista, adaptando assim, o modelo à realidade.

Os seguintes indicadores de desenvolvimento sustentável foram selecionados para as amostras e foram retirados do Sistema Geral¹¹.

SISTEMA GERAL SUB-SISTEMAS	INDICADORES (campos)			
	AMBIENTAIS	ECONÔMICOS	SOCIAIS	TECNÓLOGICOS
HUMANO • Desenvolvimento social	•	•	•	•
NATURAL • meio ambiente • recursos naturais	Emissão de CO ²	•	•	•
SUPORTE • políticas governamentais • progresso tecnológico • progresso econômico	•	PIB total PIB industrial	•	Patentes concedidas

Quadro n. 1. Indicadores de sustentabilidade selecionados do Sistema Geral

Fonte: *The Balaton Group*

Apresentação das variáveis do modelo econométrico

As amostras contam com 20 observações anuais no período de 1980 a 1999.

Emissão de CO²: oriunda do consumo e da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural). Apresenta-se em toneladas métricas - equivalência carbono, que é uma medida de emissão de gases poluentes na atmosfera. Os dados foram retirados das estatísticas oficiais de energia do governo norte-americano, pelo site da *Energy Information Administration – EIA* (www.eia.doe.gov). Representa, no período em análise, a causa dos efeitos degradantes da adoção do modelo teórico proposto.

Produto Interno Bruto Total: é medido em bilhões de dólares norte-americanos, constantes a preços de 1996. Os dados foram coletados no órgão oficial norte-americano de estatísticas econômicas, o *Bureau of Economic Analysis – BEA* (www.bea.doc.gov). Indica o crescimento da economia dos Estados Unidos no período.

Produto Interno Bruto Industrial: é medido em bilhões de dólares norte-americanos, constantes a preços de 1996. Os dados foram coletados no órgão oficial norte-americano de estatísticas econômicas, o *Bureau of Economic Analysis – BEA* (www.bea.doc.gov). Indica o crescimento industrial dos Estados Unidos no período considerado.

Patentes concedidas a residentes: apresenta-se em unidades de patentes concedidas a residentes norte-americanos pelo Escritório dos Estados Unidos de Patentes e Marcas Comerciais. Os dados foram retirados do site do *United States Patent and Trademark Office – USPTO* (www.uspto.gov). Representa, para o período considerado, um indicador do progresso tecnológico materializado em patentes, ou seja, mede a tecnologia desenvolvida para a geração de inovações tecnológicas¹².

Formulação dos modelos econométricos e análise dos resultados

MODELO 1 (Geral): $PIB_{TOTAL} = f(P; CO^2)$

Onde PIB_{TOTAL} = crescimento econômico norte-americano; P = número de patentes concedidas a residentes nos EUA; CO^2 = emissão de dióxido de carbono na atmosfera pelos EUA. Esse modelo, que explica a teoria geral levantada no modelo teórico proposto, relaciona o crescimento econômico com os indicadores de sustentabilidade selecionados. Espera-se que, de acordo com as conclusões teóricas, confirme-se que o crescimento econômico seja influenciado pela degradação ambiental e pelo progresso tecnológico.

$$\text{Função estimada: } \hat{Y} = -3597,82 + 0,0339X_1 + 6,145X_2 + \hat{e}$$

Resultados estatísticos: a: 5%; n=20; $R^2=0,9475$; $F_c=153,671$; $t_c b_1=3,12$; $t_c b_2=3,62$; $F_i=3,52$; $t_c=2,10$.

Os resultados estatísticos, a partir dos testes de hipótese e da análise dos sinais dos parâmetros estimados, mostraram que o modelo obteve um poder de explicação que satisfaz os interesses do estudo, em que o crescimento econômico norte-americano foi influenciado, no período analisado, pelo progresso tecnológico, por meio do comportamento crescente do número de patentes concedidas a residentes nos EUA, e pela degradação do meio ambiente, por meio do crescimento da emissão de CO^2 naquele país.

MODELO 2 (Intermediário ou ponte): $PIB_{TOTAL} = f(PIB_{IND})$

Onde PIB_{TOTAL} = crescimento econômico norte-americano e PIB_{IND} = crescimento econômico industrial norte-americano. Espera-se que os resultados apontem para uma forte correlação entre as variáveis, mostrando que o PIB_{IND} representa o PIB_{TOTAL} na relação com o progresso tecnológico e com a degradação do meio ambiente. Busca-se, com isso, a confirmação da tese do círculo

vicioso que mostra o progresso tecnológico e os danos ambientais associados ao processo de industrialização e ao crescimento econômico dos países desenvolvidos.

$$\text{Função estimada: } \hat{Y} = 188,02 + 1,12X_1 + \hat{e}$$

Resultados estatísticos: a: 5%; n = 20; R² = 0,9993; F_c = 27382; t_cb₁ = 165,48; F_t = 4,38; t_c = 2,10.

As mudanças observadas na variável PIB_{TOTAL} são explicadas pelas mudanças observadas na variável PIB_{IND}, ou seja, o modelo confirma, pela análise dos resultados estatísticos e pela análise do sinal do parâmetro estimado, que o crescimento econômico norte-americano é explicado pelo crescimento do seu setor industrial. Esse resultado mostra-se coerente com as conclusões teóricas levantadas, nas quais o crescimento da economia dos EUA pode ser explicado pelo seu crescimento industrial, que é um setor que esteve fortemente associado, no período, ao progresso tecnológico e à emissão de CO², conforme os resultados econométricos.

MODELO 3 (principal 1): PIB_{IND} = f(P)

Onde PIB_{IND} = crescimento econômico industrial norte-americano e P = número de patentes concedidas a residentes nos EUA. Busca-se a comprovação da tese sobre a indissociação entre o progresso econômico e o progresso tecnológico, criando um círculo vicioso responsável pelo aparecimento dos fenômenos *consumption-necessity* e *innovation pressure*, identificados na teoria apresentada e que foram os causadores do esgotamento do modelo de desenvolvimento capitalista da moderna sociedade. Serão feitas duas análises com dados defasados. Na primeira, relacionando as variáveis com uma defasagem de tempo t+1, busca-se mostrar que os efeitos do comportamento da variável explicativa (patentes concedidas) só seriam sentidos pela variável explicada (PIB_{IND}), no período seguinte. Assim, o crescimento econômico atual é influenciado pelo progresso tecnológico do período anterior. Na segunda, relacionando as variáveis em t-4, procura-se mostrar que o comportamento da variável explicativa (patentes concedidas) é reflexo do comportamento da variável explicada (PIB_{IND}) de 4 períodos anteriores. Assim, o progresso tecnológico do período atual é resultado do crescimento econômico de quatro anos atrás.¹³

Preende-se, assim, uma comprovação de que o círculo vicioso, criado pela dinâmica do modo de produção capitalista, determina a forte influência do progresso econômico sobre o progresso tecnológico e vice-versa.

Os resultados da análise com defasagem são mostrados abaixo:

$$\text{Função estimada (patentes concedidas no período t+1): } \hat{Y} = 1992,45 + 0,070X_1 + \hat{e}$$

Resultados estatísticos: a=5%; n=19; R²=0,8853; F_c=131,31; t_cb₁=11,46; F_t=4,41; t_c=2,101.

$$\text{Função estimada (patentes concedidas no período t-4): } \hat{Y} = 2569,61 + 0,048X_1 + \hat{e}$$

Resultados estatísticos: a=5%; n=17; R²=0,9003; F_c=135,53; t_cb₁=11,64; F_t=4,49; t_c=2,120.

Os resultados econométricos puderam comprovar estatisticamente a significância entre as variáveis quando se considera períodos de tempo defasados e, assim, corroborar a teoria demonstrada no modelo de desenvolvimento, em que se verifica a existência de um círculo vicioso entre os progressos econômico e tecnológico.

MODELO 4 (principal 2): PIB_{IND} = f(CO²)

Onde PIB_{IND} = crescimento econômico industrial norte-americano e CO² = emissão de dióxido de carbono, na atmosfera pelos EUA. Esse modelo procura comprovar uma das conseqüências da adoção do modelo de desenvolvimento baseado no crescimento econômico e que provocou o seu esgotamento. Espera-se a confirmação do seguinte argumento: para se garantir as taxas crescentes de crescimento econômico, polui-se o meio ambiente em razão do crescimento industrial. A relação entre os dados das variáveis é sincrônica, o que significa que a emissão de CO² é feita ao mesmo tempo em que está em curso o processo de produção industrial, ou seja, a poluição é resultado imediato do processo de produção.

$$\text{Função estimada: } \hat{Y} = -7587,07 + 9,84X_1 + \hat{e}$$

Resultados estatísticos: a: 5%; n=20; R²=0,9146; F_c=192,92; t_cb₁=13,89; F_t=4,38; t_c=2,10.

Os resultados apontaram para a confirmação teórica apresentada, pois a análise dos testes estatísticos e do sinal do parâmetro estimado mostrou que o modelo obteve ajustamento satisfatório, revelando a sua significância estatística. O crescimento do setor industrial norte-americano foi explicado, no período em análise, pela crescente emissão de dióxido de carbono. Esse resultado confirma que uma das conseqüências da adoção do modelo proposto é a agressão ao meio ambiente.

Conclusão

A dinâmica inerente ao sistema capitalista, que tem como principais vetores a tecnologia e o crescimento econômico, levou ao esgotamento do modelo adotado após o aparecimento de um círculo vicioso entre o progresso tecnológico e o progresso econômico, que culminou na relevância do aspecto econômico (quantitativo) sobre o social (qualitativo). As conseqüências

foram a degradação ambiental para atendimento exclusivo do modo de produção dominante, que pôs em risco a existência da vida no planeta e a necessidade de revisão do processo de desenvolvimento.

Os resultados alcançados na análise econométrica permitem sugerir algumas ações para a atividade de gestão em C&T:

Primeiro, as evidências empíricas demonstraram que, como o progresso tecnológico influencia o progresso econômico e esse, pela dinâmica do modo de produção capitalista, tem sido o responsável por uma violenta agressão ao meio ambiente, emerge uma nova forma de gestão dos recursos humanos e materiais que deve levar em conta os interesses do desenvolvimento sustentável. Na prática, as agências de fomento devem intensificar programas de indução para a geração de tecnologias de sustentabilidade. Com isso, o progresso tecnológico continuaria afetando, positivamente, o progresso econômico, uma vez que continuaria a geração de inovações tecnológicas, porém, sem a agressão ambiental.

Segundo, as políticas de C&T deveriam reorientar o processo, no qual políticas tecnológicas explícitas incorporem o adjetivo “sustentável”, de maneira a iniciar uma mudança de consciência e de comportamento de todos os atores envolvidos. Além disso, as formas tradicionais de incentivos fiscais e novas formas de investimentos em C&T levariam as empresas a uma nova fase de atuação, mais responsável e comprometida com o novo paradigma iniciado no início do século XXI.

Em suma, o que se defende é uma nova gestão do processo de geração de novas tecnologias para o desenvolvimento sustentável. Como a tecnologia, de acordo com o modelo, induz ao desenvolvimento, a tecnologia de sustentabilidade, referindo-se ao mesmo, induzirá ao processo de desenvolvimento sustentável, se considerar a mesma dinâmica de funcionamento discutida no presente estudo.

Assim uma nova gestão e a política de C&T interessadas com a sustentabilidade estariam na origem do novo processo de desenvolvimento, agora sustentável. As inovações tecnológicas de sustentabilidade continuariam, conceitualmente, tendo como foco o mercado. A diferença é que essas tecnologias seriam geradas com a preocupação dos impactos no meio ambiente.

A necessidade capitalista de crescimento econômico, à medida que as inovações atingissem o mercado, seria satisfeita, porém, com impactos positivos sobre o sistema ecológico. O objetivo do novo modelo é a geração da riqueza e o cuidado com a natureza, ou seja, busca-se o crescimento econômico com sustentabilidade.

Por fim, vale destacar que a contribuição aqui realizada, serve como forma de reflexão sobre a atual conjuntura, a qual deve provocar um ponto de inflexão no processo de desenvolvimento e uma tomada de consciência com as conseqüentes ações práticas, para transformarmos as nossas potencialidades em benefícios reais para nós mesmos e, principalmente, para as futuras gerações.

Notas

1 O capitalismo sofre o primeiro grande abalo na crise de 1929 que, devido à quebra da Bolsa de New York, sente uma depressão econômica sem precedentes na história, e coloca em xeque as idéias liberais que regiam as relações econômicas daquele tempo. A crise, de abrangência mundial, forçou a revisão dos principais postulados clássicos e se transformou em uma real ameaça à existência do sistema capitalista.

2 Há um extenso debate, no campo teórico, sobre o papel da tecnologia nos modelos de produção que têm, na economia convencional (neoclássica), o capital e o trabalho como fatores determinantes da geração do produto e renda das modernas economias. Nesse debate teórico, a teoria neoclássica coloca a variável tecnológica como dada, ou seja, fora da função-produção. Para as novas teorias do crescimento econômico (iniciadas com o trabalho pioneiro de Robert Solow), o caráter endógeno da tecnologia é fator fundamental para a explicação das taxas de crescimento observadas nas economias industrializadas. As modernas teorias evolucionárias ou neoschumpeterianas (com base nos estudos de Schumpeter) reconhecem o papel do progresso tecnológico na explicação do ritmo e direção do crescimento econômico das nações. colocando-o como endógeno ao processo de produção (ver Dosi, Freeman, Soete, Gittleman, Wolf).

3 Os indicadores são dos Estados Unidos por se constituírem os legítimos representantes do modo de produção capitalista na atualidade. O período escolhido justifica-se pela afirmação de que foi nas duas últimas décadas do século XX, que os efeitos negativos do modo de produção capitalista foram aguçados, desde o seu aparecimento na Revolução Industrial do século XVIII.

4 Esse modelo foi amplamente utilizado nas décadas de 50, 60 e 70 do século passado, como estratégia de diminuição do atraso histórico das sociedades latino-americanas, principalmente em relação ao desenvolvimento da estrutura industrial que, nos países desenvolvidos, deu-se nos séculos XVIII e XIX, a partir da Revolução Industrial. A Comissão Econômica para a América Latina – CEPAL foi o organismo responsável pela orientação desta estratégia, que tinha na política de industrialização via substituição de importações – ISI e na priorização do aumento da riqueza nacional em detrimento ao desenvolvimento social (primeiro aumentar o bolo para depois distribuir), as principais ações.

5 Os mecanismos citados referem-se ao modelo linear de geração de inovações tecnológicas. Além deste, a literatura indica modelos mais sofisticados que também procuram explicar a geração de inovações tecnológicas, como o modelo dos elos conectados (the chain-linked model: Kline e Rosemberg, 1986), os sistemas nacionais de inovação (national system of innovation: Niosi et. all., 1993; Nelson, 1993) ou,

mais recentemente, o da tríplice hélice universidade-indústria-governo (triple helix model: Leydesdorff, 1996; Etzkowitz, 1998). O modelo linear foi o que melhor se adaptou, dado o funcionamento e a dinâmica do modelo teórico de produção proposto. Mesmo assim, pelas características e estrutura do modelo apresentado, considera-se a característica de uma abordagem sistêmica que elimina a linearidade.

6 A idéia central desta afirmação não é a de deixar a margem o papel da ciência como geradora de novas tecnologias. Parte-se da suposição de que na relação ciência/tecnologia voltada para a geração das inovações, a tecnologia vem, relativamente, ganhando espaço da ciência como geradora de inovações tecnológicas. Essa afirmação torna-se mais categórica, se considerarmos o papel da ciência básica no processo inovativo, pois, de acordo com a argumentação do autor, o longo prazo está fora dos objetivos econômicos do capital e é essa característica que se vincula aos resultados da pesquisa básica. Sendo assim, a pesquisa básica não é adequada ao ambiente industrial.

7 A noção da criação das necessidades pela tecnologia vincula-se à produção dos bens manufaturados para atendimento do consumo da moderna civilização. O efeito-tecnologia, gerado pela automação, contribuiu para a fabricação de novos produtos que, antes, não existiam, como celular, computador, tecnologia nos automóveis, eletrodomésticos, etc.

8 Um bom exemplo é o controle remoto de televisores, vídeos-cassetes e aparelhos de som, que incluem inúmeros recursos tecnológicos que seduzem o consumidor, mas não são totalmente “consumidos”, por serem subutilizados.

9 Essa figura foi criada em função do eixo principal do modelo. A sua leitura deve levar em conta a disposição dos campos e suas relações e não a evolução temporal ou uma reta de tempo, da esquerda para a direita. Note que o campo tecnológico foi desmembrado em ciência e tecnologia para adequação do eixo principal do modelo às idéias contidas na análise da Fig. 02.

10 Para um aprofundamento sobre as fases do desenvolvimento da tecnologia, ver Hayne, Luiz A., *A inovação tecnológica como origem de um processo de desenvolvimento sustentável*. Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável. Dissertação de Mestrado. Brasília, 2000. 10-32 p.

11 O Sistema Geral, que está subdividido em subsistemas, representa a antroposfera, que é a esfera (ambiente) que afeta e é afetada pelas atividades humanas. São seis subsistemas que se agregam em três, conforme o seguinte: Sistema Humano (desenvolvimento individual, sistema social e sistema governamental); Sistema Natural (meio ambiente e sistema de recursos) e Sistema de Suporte (sistema econômico e sistema de infra-estrutura). Para maiores informações, ver: *Indicators for sustainable development: theory, method, applications*. A Report of the Balaton Group. Pgs 17-19.

12 Deve-se deixar claro que as patentes, apesar de representarem um indicador de progresso tecnológico, necessariamente não se convertem, em sua totalidade, em inovações tecnológicas. Contudo, entende-se que elas são uma fonte que, potencialmente, geram tais inovações. Assim, como indicador do progresso tecnológico e considerando essa potencialidade, atendem aos objetivos da presente investigação.

13 Está sendo utilizado um período médio de quatro anos para que os resultados do progresso econômico gerem novas tecnologias, pois como o estudo utiliza uma amostra do PIB total industrial norte-americano, deve-se considerar que o tempo entre o investimento realizado e o aparecimento de novas tecnologias varia entre os vários segmentos do setor industrial (p.e., bens de capital, eletro-eletrônicos, automobilístico, bens de consumo intermediário e final, etc)

Referências

- BUARQUE, C. *A desordem do progresso: o fim da era dos economistas e a construção do futuro*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1991.
- DOSI, G. Globalização, tecnologia e desenvolvimento: entrevista. *Revista Rumos*, Rio de Janeiro, ano 22, n. 143, p. 4-9, dez.1997.
- ERBER, F. S. Um ensaio de evolução conceitual. *Revista Brasileira de Tecnologia*, Brasília, DF, v. 12, n. 1, p. 45-50, jan./mar. 1981.
- FREEMAN, C. *Technology policy and economic performance: lessons from Japan*. London: Pinter Publishers, 1987.
- HASENCLEVER, L.; CASSIOLATO J. E. Capacitação tecnológica empresarial brasileira e transferência de tecnologia. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 20., 1998, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Núcleo de Política e Gestão Tecnológica, NPGT/FIA/USP, 1998. p. 309-321.
- HAYNE, L. A. *A inovação tecnológica como origem de um processo de desenvolvimento sustentável*. 2000. Dissertação (Mestrado). Centro de Desenvolvimento Sustentável- CDS/Universidade de Brasília, Brasília, 2000.
- MEADOWS, D. *Indicators and information systems for sustainable development: a report of the Balaton Group*. Vermont, USA, 1998. p. 74
- NONAKA, V. R.; TAKEUSHI, H. *Criação de conhecimento na empresa*. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

Recebido em: 19/11/2003

Aprovado em: 22/11/2003.