

## **INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E MEIO AMBIENTE: DANDO UM PASSO ACIMA**

**Thales de Andrade\***

### **INTRODUÇÃO**

Inovação parece uma daquelas palavras mágicas, carentes de definição precisa e que são defendidas por grupos sociais os mais diversos. De forma semelhante a outros conceitos importantes das Ciências Sociais, como globalização e desenvolvimento sustentável, é um termo extremamente polissêmico e consensual (MACIEL, 1997).

Nos países avançados, essa problemática adentrou na agenda de diferentes setores como governos, corporações, universidades, centros de pesquisa e movimentos sociais. Desde os anos 80, os países da OCDE vêm alterando o padrão de apoio à indústria, incorporando medidas que integram a política de comércio internacional com a industrial e tecnológica. Ao invés de subvencionarem empresas através de contratos de P&D específicos e pontuais, os governos desses países passaram a criar condições para que a atividade produtiva se organize de forma sistêmica e integrativa (CASSIOLATO & LASTRES, 2000).

No Brasil assistiu-se a partir de meados dos anos 90 a um investimento crescente em políticas de inovação. A criação dos fundos setoriais para financiamento de pesquisas, a formulação da Lei de Inovação e o crescimento na importância das Incubadoras de Empresas apontam para a tendência de se integrar experiências e práticas de inovação tecnológica (TRIGUEIRO, 2002).

Ocorre que o tema da inovação tem se mantido estreitamente ligado a preocupações de ordem econômica, como competitividade, pressões da demanda e investimento. Alguns autores têm chamado atenção para o desafio premente de se incluir variáveis socioculturais nas avaliações e estudos sobre a implementação da inovação em contextos locais e nacionais (FLICHY, 1995; MACIEL, 1997).

As Ciências Sociais não estão inseridas tão fortemente nessa agenda de pesquisa, em comparação com a Economia e as Ciências Organizacionais. Desde seus fundadores, os cientistas sociais muitas vezes se ocuparam da problemática tecnológica, mas muitas vezes esquivando-se de debater o fenômeno técnico em si mesmo e a questão da inovação (FEENBERG, 1991).

Mais recentemente, os teóricos do risco social apontaram a crise das certezas do mundo contemporâneo, em que a contingência e a instabilidade das práticas tecnológicas repercutem diretamente na sociabilidade. O princípio de precaução e a desconfiança no desenvolvimento tecnológico vem adquirindo proeminência no pensamento social contemporâneo (BRUESEKE, 2002).

Nesse contexto de preocupações, desenvolveu-se uma ampla desconfiança em relações às promessas da inovação. A área ambiental é exatamente um exemplo de esfera que tem encontrado dificuldades em incorporar essa questão. A dimensão do risco social e a crítica às incertezas da modernidade impedem que a lógica da inovação interfira nos rumos do debate da sustentabilidade, fortemente marcado por uma desconfiança aos avanços tecnológicos.

O propósito desse artigo consiste em realizar uma discussão exploratória acerca das articulações possíveis entre a problemática da inovação tecnológica e a questão ambiental,

---

\* Professor da Faculdade de Ciências Sociais da PUC-Campinas e editor executivo da revista Ambiente & Sociedade.

defendendo a tese que se faz necessário dar um passo acima em relação ao debate posto sobre a relação entre problemática ambiental e tecnologia. Em um primeiro momento, será feita uma introdução geral à problemática da inovação; e então, será discutida a problemática da indeterminação do processo inovativo. Em seguida, um breve balanço das tendências preponderantes da discussão tecnológica dentro do pensamento ambientalista e suas lacunas.

Após essa trajetória, acredita-se que será possível lançar uma discussão sobre a necessidade de se incorporar a inovação na agenda ambiental mais recente, e as condições teóricas e institucionais para tanto.

## **O CONCEITO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**

É possível apontar duas grandes tendências que se propuseram a compreender a questão da inovação no mundo contemporâneo: as correntes econômicas derivadas do pensamento schumpeteriano, e a sociologia construtivista das técnicas desenvolvida principalmente por Bruno Latour, que criou espaço para a incorporação da temática nas Ciências Sociais.

A disciplina econômica foi a que sem dúvida deu o maior impulso à construção da agenda da inovação. As elaborações de Joseph Schumpeter no início do século XX tiveram um impacto considerável no debate sobre transformações tecnológicas e desenvolvimento econômico. Segundo ele, os investimentos nas novas combinações de produtos e processos produtivos de uma empresa repercutem diretamente em seu desempenho financeiro, de modo que o moderno empresário capitalista deve ocupar ao mesmo tempo um papel de liderança econômica e tecnológica. O comportamento empreendedor, com a introdução e ampliação de inovações tecnológicas e organizacionais nas empresas, constitui um fator essencial para as transformações na esfera econômica e seu desenvolvimento no longo prazo (SCHUMPETER, 1982).

Na esteira das elaborações de Schumpeter, há algumas décadas o termo inovação foi cunhado no âmbito da OCDE com vistas a promover uma interação mais efetiva entre o setor produtivo e as áreas de pesquisa e conhecimento. Isso ocorreu no momento em que a abertura de mercados e o aumento da competitividade internacional incitaram empresas e governos a estabelecerem sinergias envolvendo pesquisa tecnológica e política industrial, para a manutenção das taxas de crescimento econômico.

O economista Christopher Freeman, considerado um autor neo-schumpeteriano, foi o responsável pelo estabelecimento do conceito em sua versão atual. Desde os anos 60, a discussão sobre inovação surge e se desenvolve com um claro perfil econômico e corporativo, sendo vista como condição para que empresas e governos tenham um bom desempenho na economia internacional frente às oscilações de mercado e ameaças da concorrência. (Ver FREEMAN, 1992; 1982).

Essa perspectiva de análise levou à formulação de diversos modelos de inovação e projeções macroeconômicas. O cruzamento de informações sobre patenteamento de produtos e investimentos públicos e privados na área tecnológica permitiu a elaboração de fórmulas para se avaliar os efeitos do mercado sobre as práticas de inovação, a célebre problemática da indução pela demanda.

Segundo Flichy (1995), um sério problema metodológico persegue as teorias econômicas que procuraram estabelecer as relações entre pressão da demanda, oferta tecnológica e inovação. Elas propiciam modelos e fazem cruzar determinadas variáveis, mas não lograram explicar como os processos inovativos aparecem e se desenvolvem. As

relações exógenas entre ciência e tecnologia e os modelos mecânicos de interferência da demanda sobre a atividade tecnológica mostraram-se insuficientes para esclarecer porque determinadas inovações tiveram êxito e outras não.

A partir dos anos 80, os economistas passaram a mudar o enfoque de análise. Com a globalização da economia e a flexibilização dos formatos organizacionais envolvendo empresas, agências estatais e centros de pesquisa, a formação e desenvolvimento de redes passa a ser um tema central dos pesquisadores sobre inovação (FREEMAN, 1992).

Nesse contexto, em que a estrutura organizacional assentada nos fluxos de informação passa a ser mais essencial que os próprios produtos desenvolvidos a partir das atividades tecnológicas, estabelece-se um novo conceito, o de sistemas nacionais de inovação. As interações entre os agentes econômicos, as instituições de pesquisa e organismos governamentais estipulam ações recíprocas que geram a capacidade de desenvolvimento de condições de inovação. Políticas locais e setorizadas passam a ser imprescindíveis para a compreensão do potencial inovativo de uma nação e região, independentemente da atividade específica de cada setor e das oscilações da demanda (CASSIOLATO & LASTRES, 2000).

A interação das firmas com e no sistema passa a adquirir significado estratégico. Essas capacidades, que anteriormente eram consideradas como que mais puramente administrativas ou gerenciais, são consideradas no período atual como parâmetros de inovação (LEMOS, 2000; TRIGUEIRO, 2002).

Por outra vertente, a perspectiva construtivista da sociologia das técnicas deu uma grande contribuição ao debate sobre inovação tecnológica. Os trabalhos de Pinch & Bijker (1987), Latour (2000) e Callon (1987), apesar de suas diferenças, oferecem um olhar especial à relação entre tecnologia e economia que modificou amplamente a compreensão da dinâmica inovativa.

O determinismo presente no debate econômico sobre a lógica e os modelos de inovação, relacionado à noção de eficiência e racionalidade dos agentes, precisa dar lugar a uma abordagem contextual e multilinear, que não aceita como auto-suficientes os parâmetros das escolhas econômicas.

A escolha de determinadas tecnologias e a recusa de outras não se baseia em critérios puramente econômicos ou racionais, mas sim na compatibilização envolvendo crenças e interesses dos diversos grupos e setores estratégicos que se encontram na atividade tecnológica (FEENBERG, 1999).

Nesse sentido, os interesses econômicos acompanham mas não determinam o rumo da inovação. A obra de Latour (2000) trouxe uma grande contribuição para essa compreensão do processo inovativo. Para ele, toda inovação deve se construir a partir daquilo que ele denomina de ação estratégica dos inovadores. Nessa ação estratégica, o inovador precisa ao mesmo tempo controlar o contexto social em que se desenrola a prática inovadora e se adaptar a ele. Caso não tenha autonomia suficiente para estabelecer seus princípios de ação e não possa manipular as variáveis de sua atuação, ele não poderá realizar inovações importantes. A manipulação constante do contexto em que se desenrolam as controvérsias garante a satisfação das várias condições em jogo para a resolução de conflitos e consolidação das inovações.

Em suas práticas, os agentes inovadores ao mesmo tempo constroem e se submetem aos seus respectivos contextos de inovação. Em uma perspectiva radical, o autor assinala que projeto técnico e o contexto social em que se desenrolam tendem a se fundir (LATOURE, 1994). Por exemplo, para a produção de um novo modelo de automóvel, é

necessário não somente desenvolver o protótipo e adquirir as peças e equipamentos, mas também atender à legislação de transportes, adquirir licenciamento junto aos órgãos competentes, seduzir potenciais consumidores etc. Caso o inovador não logre forjar esse contexto favorável, estabelecendo uma mediação recorrente entre as coisas e os sujeitos, seu projeto perde em existência.

O trabalho de Callon (1987) trouxe uma grande contribuição para a percepção das relações cruzadas entre os profissionais da tecnologia e os setores não técnicos. Segundo ele, todo engenheiro que desenvolve um projeto tecnológico age também como um sociólogo (engenheiro-sociólogo), na medida que estabelece critérios e formas de procedimento técnico a partir de conhecimentos sociológicos.

Para a sociologia conseguir entender o rumo das inovações técnicas, é necessário investigar o sentido da prática dos engenheiros e seus materiais, o que inclui também elementos físicos e inanimados. O conceito de redes de atores adquire em seu trabalho uma importância crucial, pois através dela é possível detectar simultaneamente tanto o sentido das práticas sociais como das inovações tecnológicas em imbricações complexas e dinâmicas.

Essa concepção de inovação procura articular a racionalidade das ações econômicas com a seleção de opções tomadas pelos agentes que conformam a rede sócio-técnica em sua contínua interação contextual. Tanto quanto os especialistas, os leigos são agentes essenciais para a prática inovativa, pois é também através de sua atuação que projetos tecnológicos ganham consistência e viabilidade.

Enquanto a tradição schumpeteriana compreende a dinâmica inovativa em suas possibilidades produtivas e corporativas, a perspectiva de Latour e da sociologia construtivista aposta na discussão circunstancial e coletiva da prática da inovação, envolvendo agentes econômicos e não econômicos (TRIGUEIRO, 1997).

## **A INDETERMINAÇÃO DO PROCESSO INOVATIVO**

Risco ou inovação? Esse constitui um dilema essencial que recobre o debate em torno de meio ambiente e avanço tecnológico. Nessa seção, será problematizado o espaço de confluência desses dois elementos, aparentemente contraditórios.

A instabilidade, o risco e a contingência são temas recorrentes no pensamento social contemporâneo. Os teóricos do risco apontam que o mundo atual precisa se preparar para lidar com as inconstâncias e instabilidades recorrentes oriundas da prática científica e tecnológica, e que somente mediante a vigilância e precaução constante é possível gerenciar os riscos da modernidade. Toda prática inovativa, assentada em resultados incertos e instáveis, representa potencialmente um risco para as instituições e relações sociais (BECK, 1992; BRUESEKE, 2002).

A inovação tecnológica, acoplada à atividade industrial e gestão empresarial, representa a materialização dos processos econômicos incertos e desestabilizadores da vida humana e das condições ambientais. Para os partidários da teoria do risco, a prática inovativa precisa ser regulamentada, de modo a se controlar efeitos imprevistos e impactos no ecossistema. Como se a inovação e o risco constituíssem elementos contraditórios, o primeiro defendido pelo pensamento econômico e corporativo, e o segundo pelos agentes sociais.

No entanto, nesta seção será debatido que a indeterminação e insegurança garantem a originalidade e o sucesso dos procedimentos inovativos. Em outras palavras, a

insegurança e o risco não são contrários à lógica da inovação na medida que toda forma de reconstrução tecnológica necessita se abrir à contingência e ao aleatório.

A inovação, diferentemente da lógica da invenção, não se baseia na busca de novas propriedades técnicas ou novos produtos. Sua ênfase recai sobre a compatibilização entre o avanço tecnológico e as instituições sociais existentes, e não sobre o desenvolvimento de novas tecnologias (GILLE, 1961; STIEGLER, 1998). Para haver essa compatibilização entre o tecnológico e as esferas sociais, a abertura para o contingente e para as incertezas da vida moderna é fundamental.

Segundo a literatura especializada, o processo de inovação tecnológica pode assumir diferentes posturas. Pode-se estabelecer perspectivas substitutivas de inovação, em que um processo ou dispositivo tecnológico é superado a favor de outro; é possível inovar incrementando adições a tecnologias existentes no interior de padrões tecnológicos estabelecidos (lock-in); a inovação pode impor processos tecnológicos considerados como de finais de circuito (end of pipe), em que a cadeia de inovação se esgota; ou é possível adotar estratégias alternativas de inovação a partir de caminhos originais (breakthroughs) (STIEGLER, 1998; FLICHY, 1995; CORAZZA, 2001).

Nos três primeiros casos, tem-se uma perspectiva linear e conservadora de inovação, que inclui a lógica substitutiva e o incrementalismo. A substituição de uma fonte de energia por outra ou a adição contínua de componentes e produtos tecnológicos não garantem por si um aprimoramento social e tecnológico. Para que a inovação possa realmente constituir um fator de renovação social, faz-se necessário superar essas tendências, em que se por um lado os riscos são controlados, os resultados sociais não representam avanços substantivos.

Vale a pena retomar nesse momento as elaborações do filósofo das técnicas Gilbert Simondon (1969). Para ele, todo objeto técnico tende a adquirir uma compatibilidade interna que promove um funcionamento cumulativamente mais sinérgico e auto-ajustado. Um objeto técnico mais concreto possui um rendimento superior em termos técnicos, pois solicita a conformação de um novo sistema, mais reticular e avançado, que provoca necessariamente uma desestabilização nas condições de seu entorno (exemplo: máquina a vapor).

À medida que se acoplam a outros objetos, formando grandes sistemas técnicos, as máquinas dispõem daquilo que Simondon (1969) denomina margem de indeterminação, uma fresta em seu funcionamento que as permite dialogar com outros componentes técnicos e alterar sua própria constituição de forma imprevisível e aleatória.

Não pode haver avanço e inovação técnica sem essa margem de indeterminação, uma abertura das máquinas para relações desconhecidas e abertas. É através da margem de indeterminação que os objetos trocam informações com seu entorno e podem aprimorar sua inserção em conjuntos técnicos mais amplos. O autor defende que o desenvolvimento dos objetos e sistemas técnicos é condicionado pelos ajustes que os homens e as máquinas constroem em seus constantes diálogos técnicos, e inexistem modelos que possam antecipar a configuração desses diálogos.

Seguindo o raciocínio de Simondon (1969), uma inovação técnica sem incertezas só poderá ser incremental ou substitutiva, ou mantida dentro de trajetórias tecnológicas consagradas.

Ancorado no pensamento de Simondon, Stiegler (1998) alerta para o problema colocado pela interferência do sistema econômico e administrativo sobre a dinâmica da inovação. Para ele, o excesso de planejamento e controle sobre o avanço tecnológico implica em inserir variáveis não técnicas sobre a transformação propriamente técnica. Com

isso, não é mais possível correr riscos ou realizar experimentações livres, uma vez que todo um aparato institucional, financeiro e econômico é construído em torno da prática inovativa.

Ou seja, o futuro precisa ser organizado e controlado, e a temporalidade técnica precisa se submeter a regras e fórmulas de financiamento da área econômica e administrativa. Isso significa que os agentes sociais da inovação necessitam se adaptar a práticas de investimento em que os aspectos indeterminados e instáveis da pesquisa tecnológica precisam ser necessariamente controlados. Nos termos de Stiegler,

“Em um ritmo de inovação constante, fatores desconhecidos não são mais aceitáveis; o movimento deve ser controlado sob o risco de haver um colapso na coerência global a partir de onde os sistemas operam de forma complementar...” (STIEGLER, 1998: 42).

A concepção dominante de desenvolvimento tende a colonizar o sentido da inovação e alijá-la de um de seus componentes mais ricos e férteis, a incerteza e a experimentação constante. A alteração nos rumos da atividade tecnológica e a periódica desestabilização dos sistemas técnicos por via da inovação tendem a ser estipulados aprioristicamente por intermédio de políticas definidas e instituições normativas.

O problema consiste que os *policy-makers* e gestores industriais pretendem, ao organizarem a prática inovativa e estabelecerem metas, projeções e mecanismos de avaliação, coordenar o avanço tecnológico e retirar seu aspecto de indeterminação e imprevisibilidade.

O ambientalismo e a teoria do risco, ao condenarem a inovação a se submeter aos imperativos da precaução, pretendem realizar algo semelhante, ou seja, alijá-la de um de seus componentes mais ricos e necessários, a indeterminação. A despeito de suas grandes contribuições para a sociologia ambiental, a teoria do risco ainda avalia o avanço tecnológico por seus impactos, mas não por suas possibilidades ou pelo seu dever. A atividade técnica só adquire sentido a partir de seus impactos futuros, imprevisíveis, não se antevendo a possibilidade de arranjos e articulações institucionais oriundos da inventividade técnica.

A abertura para fórmulas técnicas e sociais alternativas e a fuga ao incrementalismo tecnológico exigem o comprometimento coletivo com a contingência e o aleatório, que representam grandes fontes do processo inovativo.

## **A CRÍTICA AMBIENTAL À TECNOLOGIA MODERNA**

Durante os anos 60 e 70 um conjunto de intelectuais de diferentes correntes teóricas basearam suas colocações sobre a crise ambiental em uma crítica contundente ao desenvolvimento técnico. Barry Commoner (1971), Michel Bosquet (1976), os cientistas ligados ao Clube de Roma (MEADOWS et al., 1972) e outros, foram expoentes do pensamento ambientalista que englobaram em suas críticas ao capitalismo industrial uma contundente oposição ao desenvolvimento tecnológico.

De acordo com Spaargaren (1996), esses autores defendem que a causa dos problemas socioambientais da contemporaneidade repousa nas condições e relações de produção capitalistas, que não incorporam em sua contabilidade o custo ambiental. Os efeitos desastrosos sobre o meio ambiente seriam originados da atividade industrial e tecnológica, que não internaliza os custos ambientais da produção em termos de poluição, desmatamento etc. e por outro lado, o capitalismo não conseguiria ampliar sua rentabilidade

na medida em que é forçado a repor constantemente o capital natural dispendido na atividade produtiva.

Esses teóricos sustentam de diferentes maneiras que os efeitos da tecnologia geram saturação ecossistêmica, principalmente na forma de poluição atmosférica, hídrica ou resíduos sólidos. As tecnologias modernas, baseadas no uso intensivo de recursos energéticos e emissão de poluentes, representariam o grande fator desestabilizador do meio ambiente.

Um exemplo típico dessa posição aparece nos trabalhos do biólogo americano Barry Commoner, que no início dos anos 70 lançou o livro *The Closing Circle* (1974), apontando que o problema da emissão de poluentes constitui a maior ameaça às condições de vida, levando em conta principalmente a situação ambiental no contexto norte-americano.

O capítulo 9 do livro contém o sugestivo título de “O defeito tecnológico” no qual Commoner sustenta que a partir do ano de 1946 os níveis de poluição ambiental nos Estados Unidos aumentaram em escala muito maior dos que as taxas de crescimento populacional e econômico. Para se compreender o grande avanço da crise ambiental americana, fazia-se necessário atentar a “como” a economia havia crescido, ou seja, qual o sentido que as formas de acumulação tinham assumido.

Ao examinar a produção industrial americana dos 25 anos anteriores, Commoner descobre uma grande alteração nas trajetórias tecnológicas: detergentes sintéticos, plásticos, fertilizantes químicos, pesticidas, aparelhos de ar-condicionado, automóveis com motores de alta potência etc passaram a dominar o cotidiano do cidadão americano. A poluição ambiental seria produto, portanto, não do crescimento econômico em si, mas da alteração do padrão tecnológico que passou a conduzir a atividade econômica. E como se pode observar esse fenômeno? Commoner faz uma afirmação interessante nesse ponto, que vale a pena ser reproduzida:

“Esse padrão de crescimento econômico é a maior causa da crise ambiental. Uma boa dose de mistério e confusão acerca da emergência súbita da crise ambiental pode ser removida ao apontarmos especificamente, poluente por poluente, como a transformação tecnológica na economia dos Estados Unidos no período pós-guerra produziu...os crescentes níveis de poluição ambiental.” (COMMONER, 1974: 144).

Commoner acredita poder descrever a crise ambiental americana apresentando, poluente por poluente, produto por produto, os efeitos nocivos das novas tecnologias. A perspectiva lançada por ele perpassa diversas discussões ambientais e tecnológicas, segundo a qual uma tecnologia deve ser avaliada pelos seus efeitos posteriores, e não por suas próprias características.

Importante apontar que esses teóricos do ambientalismo só são capazes de enxergar o fenômeno técnico a partir dos efeitos ou resultados visíveis em termos de poluição, desmatamento, impactos etc., o que não significa que estejam atentos à realidade técnica em sua contingência e organização internas. Ou seja, reduzem o rendimento técnico a seus efeitos quantificáveis.

Por exemplo, diferentes fábricas podem poluir a atmosfera emitindo gases. Esse seria um efeito indesejável da atividade tecnológica. Mas as fábricas, em sua inserção no espaço urbano, constroem um ambiente de circulação de recursos e materiais que é anterior à própria emissão de resíduos. Ou seja, independentemente da emissão maior ou menor de

poluentes, as fábricas representam um contexto técnico, social e ambiental que precisa ser avaliado especificamente. Os efeitos da atividade técnica na forma de poluentes e dejetos representam um dos aspectos de sua implicação ambiental, que não pode ser tomado pelo todo.

O estabelecimento de multas e taxas inibidoras contra empresas poluentes, uma prática social defendida pelos adeptos da postura ambientalista, implica em generalizar arbitrariamente as mesmas sanções a práticas técnicas diferenciadas. Com isso, iguala-se a tecnicidade aos seus efeitos perceptíveis. Por exemplo, o plástico teria como efeito a poluição dos rios, enquanto que os fertilizantes químicos significariam uma ameaça aos solos, e assim indefinidamente.

Substituir esses elementos por outros ou criar dispositivos tecnológicos finalizadores que diminuam seus impactos no ecossistema representam meramente práticas incrementais, atentas somente aos efeitos dos dispositivos técnicos. Ao reduzir a importância dos fenômenos técnicos aos seus efeitos perceptíveis e quantificáveis, perde-se de vista as múltiplas relações sociotécnicas e ambientais presentes nos sistemas produtivos modernos.

Outra questão emerge a partir das colocações de Commoner. Ele discute separadamente as atividades tecnológicas, no caso o plástico, os fertilizantes etc, como atividades autônomas. Para ele, o desenvolvimento tecnológico pode ser compartimentado em suas manifestações específicas enquanto gerador de poluentes e efeitos desastrosos ao meio ambiente. O diagnóstico ambiental sobre o desenvolvimento tecnológico na segunda metade do século XX parte muitas vezes de uma visão fragmentada e pontual da atividade tecnológica.

O filósofo da tecnologia Bertrand Gille (1978) afirma que o problema de trabalhos como o relatório "Limites do Crescimento" consiste exatamente em uma visão dispersa das formas tecnológicas, que passam a não constituírem um sistema articulado. Para o autor, detectar desequilíbrios específicos e pontuais da tecnologia e negá-los um aspecto sistêmico e reticular representa a incapacidade de captar o fenômeno técnico em sua complexidade.

A problemática tecnológica foi predominantemente concebida pelo ambientalismo a partir de sua manifestação tópica. Ou seja, uma determinada tecnologia representava um determinado risco ao meio ambiente, na forma de degradação, poluição, deterioração etc. O automóvel polui a atmosfera, uma fábrica polui os rios, uma determinada máquina ou produto químico representa o risco de determinada doença. Portanto, seria viável uma intervenção específica dos agentes ambientalistas sobre determinadas tecnologias ou máquinas para resolver ou minimizar efeitos nocivos ao ambiente (FORAY & GRÜBLER, 1996).

Essa aproximação determinística entre tecnologia industrial e poluição ambiental ocupou durante um bom tempo o topo da agenda ambiental, muitas vezes dentro de uma postura defensiva e retrógrada. Sobressai portanto nessa literatura um posicionamento de limitação e supressão de processos e componentes tecnológicos.

Dentro dessa perspectiva, a partir dos anos 70 foram iniciados vários investimentos em tecnologias limpas ou alternativas em diversos países, como resposta às demandas do movimento ambientalista. A iminente crise ecológica e energética que se expunha naquele momento exigia um grande investimento social na busca de alternativas econômicas e tecnológicas. Energia eólica, solar, combustíveis alternativos ou fórmulas para minimizar emissão de poluentes foram desenvolvidos com vistas a minorar níveis de degradação ou desperdício de recursos não renováveis (DICKSON, 1980; SACHS, 1986).



Constata-se em grande parte das vezes que essas tecnologias ambientais possuíam um caráter claramente substitutivo e convencional em termos tecnológicos. A crítica às tecnologias ambientais elaborada por estudiosos da inovação vai no sentido de que elas não requerem novos paradigmas tecnológicos ou científicos, mas avançam dentro de direções consagradas do debate ambiental, como consumo de energia e preservação de recursos, e marcadas por uma perspectiva finalizadora, de final de circuito (end of pipe), que significa encerrar toda uma trajetória tecnológica em nome de sua viabilidade ambiental (FREEMAN, 1996).

Em outras palavras, ao invés de repensar o panorama econômico e tecnológico da sociedade industrial, bastaria substituir uma fonte de energia por outra ou adicionar um dispositivo paliativo em determinadas máquinas (AUSUBEL, 1996; FORAY & GLÜBLER, 1996).

Segundo Foray & Grüber (1996), grande parte dessa discussão colocada pelo ambientalismo em relação à tecnologia se concentra em questões envolvendo recursos naturais e energia. Essa perspectiva reduz a problemática tecnológica a determinados eventos específicos ou a algumas tecnologias consideradas fundamentais. O desafio atual consiste em construir um paradigma tecnoeconômico ambiental, na qual

“...a problemática da mudança tecnológica para resolver problemas ambientais não deve se limitar aos setores de energia e recursos naturais. Devido ao fato que em última instância o problema reside na alteração dos comportamentos sociais, padrões de consumo e modos de vida, a tecnologia deve ser considerada em uma visão holística...(FORAY & GRÜBLER, 1996: 4)”

A crítica do ambientalismo tradicional à realidade técnica estabeleceu um padrão de externalidade entre de um lado tecnologias específicas e de outro os recursos fixados aprioristicamente enquanto reservas. Dentro dessa perspectiva são cabíveis apenas políticas de retenção tecnológica e iniciativas de curto prazo, e não a procura por padrões tecnológicos e organizacionais alternativos e flexíveis.

Outro enfoque da sociologia ambiental sobre a questão tecnológica está presente na perspectiva do risco ambiental. Segundo Beck (1992), a emergência da sociedade de risco significa a entrada da modernidade em uma nova era de incertezas, em que a ciência e a tecnologia assumem papéis proeminentes. Elas representam as instituições que mais ampliaram os riscos da modernidade, através da artificialização dos processos naturais e da construção de uma sociabilidade indiferente aos resultados imprevisíveis das atividades econômicas.

A busca de uma causalidade recorrente entre aplicação de tecnologias e efeitos ambientais negativos não se sustenta na condição da sociedade de risco. Nela, a contingência e o aleatório possuem um papel articulador fundamental, de modo que simplesmente o controle e limitação da modernização tecnológica não fazem sentido. A latência do risco exige um acompanhamento contínuo das atividades tecnológicas por intermédio de grupos de especialistas e não-especialistas, que não se pautam por questões de ordem impositiva e segura, mas pelo emprego da auto-reflexão e experimentação preventiva.

Na condição de modernidade, é impossível eliminar os riscos de forma pontual e específica. Os riscos da utilização de agrotóxicos ou fertilizantes químicos não podem ser aprioristicamente apontados e retirados, uma vez que remetem à absorção específica de um

certo grupo de pessoas em determinadas condições, as quais não podem ser idealmente generalizadas (BECK, 1992).

O caráter impreciso e imprevisível dos rumos da modernização impede o diagnóstico direto e conclusivo acerca dos avanços tecnológicos atuais. Não haveriam condições institucionais na moderna sociabilidade para se antever e enfrentar a crise ecossistêmica devido à crença generalizada nos instrumentos técnicos e de gestão do capitalismo industrial (BRUESEKE, 2002).

Apesar de avançar na problematização da discussão ambiental apontando suas incertezas e ambivalências, a lógica do risco mantém a compreensão dicotômica entre produtos tecnológicos de um lado e impactos no ambiente de outro. Essa diferenciação representa um entrave para uma compreensão complexa da relação envolvendo ambiente e tecnologia, na medida em que se submete o desempenho tecnológico a seus efeitos. O princípio de precaução, tão veementemente defendido pelos teóricos do risco, implica muitas vezes no controle apriorístico e castrador da inovação tecnológica em função de possíveis impactos aleatórios.

Dentro desse panorama teórico, alguns autores clamam por uma sofisticação do debate envolvendo ambiente e processos tecnológicos, em que não se perpetue uma visão substitutiva e convencional, mas se rediscuta as intersecções possíveis entre esses dois elementos. E, para isso, a problemática da inovação se faz essencial.

## **CONTRIBUIÇÕES DA INOVAÇÃO PARA O DEBATE AMBIENTAL**

Recentemente vem se consolidando a necessidade de incorporar com maior ênfase a perspectiva da inovação na discussão ambiental. Adeptos da sociologia construtivista, economistas e filósofos que estudam o desenvolvimento tecnológico têm chamado atenção para a fragilidade dos termos colocados pelo ambientalismo mais tradicional em relação ao debate envolvendo ambiente e tecnologia. Nesse item trataremos algumas das formulações de autores que pregam a necessidade de uma abordagem diferenciada dessa questão.

Para Freeman (1996) e Ruttan (1996) as tendências predominantes do ambientalismo frente à prática tecnológica combinam métodos de regulação e incentivos econômicos, mas não oferecem a mesma atenção a formas alternativas de organização, mudanças institucionais e difusão de experiências. Inovação e difusão representam para esses autores o caminho para a adequação de demandas tecnológicas e sociais com as condições do meio, e para tal faz-se necessário sair de um tratamento episódico, circunstancial, rumo a um olhar panorâmico sobre as múltiplas convergências entre condições ecossistêmicas e conjuntos técnicos.

Dentro de um paradigma tecnológico renovado, a reversibilidade dos sistemas técnicos constitui atualmente um dos maiores desafios. Os elevados custos econômicos e políticos para o redirecionamento de fontes de energia e utilização de materiais representam limitações que só podem ser questionadas dentro de uma perspectiva metatécnica. Segundo Freeman (1996),

“O que se faz necessário para uma transição em escala mundial a um “paradigma tecnoeconômico verde” é algo mais fundamental do que mudanças incrementais para um regime tecnológico informacional. A transição para sistemas energéticos renováveis no século XXI não será possível sem grandes mudanças institucionais

nos sistemas de transporte público, sistemas fiscais e na cultura automotiva e aeronáutica” (FREEMAN, 1996: 38).

A inovação requer um rearranjo cultural, institucional e organizacional que discuta as condições de armazenamento de materiais, intercâmbios de componentes e gestão de sistemas integrados de informação em padrões complexos e ao mesmo tempo transparentes, colegiados.

Enquanto o capitalismo industrial se desenvolve a partir do desenvolvimento contínuo e cumulativo de novas ferramentas e produtos, ou seja, na lógica da invenção, as perspectivas de sustentabilidade são altamente prejudicadas. Prevalece então o desperdício de produtos, a redundância tecnológica expressa nos diferentes modelos e marcas colocados no mercado, e a incompatibilidade entre equipamentos de linguagens diversas. A perspectiva da inovação procura investir na exploração coletiva de compatibilização dos diferentes sistemas técnicos diminuindo desperdícios, ampliando a funcionalidade de produtos e componentes e aumentando a reversibilidade de processos econômicos (CORAZZA, 2001).

A construção de políticas tecnológicas inovadoras representa atualmente um dos principais desafios para o ambientalismo, forçando-o a abandonar uma postura defensiva e restritiva frente às amplas possibilidades de reestruturação política e social no mundo contemporâneo. O princípio de precaução, tão frisado por diversas correntes ambientalistas, conjugado à lógica substitutiva e incremental das tecnologias ambientais tradicionais, representam um entrave significativo para a construção de processos inovativos voltados à sustentabilidade.

Faz-se necessário dar um passo acima (scaling up), ou seja, abandonar o olhar tópico e imediato para determinadas tecnologias e processos específicos, e procurar entender a inovação enquanto fórmula de compatibilização complexa de um sistema tecnológico enquanto ambiente técnico e social.

Vários autores apontam que o caminho para a confluência entre a realidade ambiental e o desenvolvimento tecnológico reside na formulação de metatecnologias, que permitam a construção de sistemas sinérgicos de alta integração e compatibilidade. Para Feenberg (1991), a sociedade contemporânea precisa reintegrar o ambiente na atividade técnica não através do controle desta, mas por meio de um paradigma da prática técnica mais complexo e abrangente do que o atual, o qual ele denomina como instrumentalização técnica secundária.

De acordo com essa noção, faz-se necessário abandonar o nível tópico da discussão tecnológica (determinadas máquinas ou fontes de energia), que seria a instrumentalização primária, e desenvolver um olhar abrangente sobre armazenamento de materiais, intercambialidade de componentes industriais, construção de sistemas abertos de comunicação e transporte e outros.

A instrumentalização técnica secundária implica em desenvolver atributos metatécnicos que questionam o padrão capitalista de financiamento e utilização dos artefatos e máquinas. Utilizando o conceito de concretização formulado originalmente por Simondon (1969), Feenberg propõe um constante ajuste do design e da compatibilidade dos objetos técnicos em vista da construção de sistemas ao mesmo tempo abertos, cambiantes e colegiados. A escolha entre a ênfase na instrumentalização primária ou secundária representa para Feenberg o grande desafio contemporâneo frente ao avanço técnico. Segundo seus próprios termos,

“Todas as sociedades industriais modernas se encontram em uma encruzilhada, encarando duas dimensões diferentes do desenvolvimento técnico. Elas podem permanecer no nível da instrumentalização primária, intensificando a exploração de seres humanos e da natureza, ou seguir em outra direção na qual as tendências tecnológicas integrativas apóiam aplicações emancipatórias. A escolha é essencialmente política...” (FEENBERG, 1991: 195).

A passagem da instrumentalização primária para a secundária representa o passo acima aludido no título do presente trabalho, em que os esforços políticos e sociais convergem com a construção de sistemas tecnológicos ao mesmo tempo amplos e participativos. A emancipação humana e a sustentabilidade ambiental só podem ser resolvidos dentro de um espírito técnico articulado e concatenado coletivamente, os quais somente princípios inovativos podem recuperar.

A concepção de contexto técnico e social desenvolvido por Latour (1992) e sua perspectiva construtivista traz uma contribuição especial para se refletir sobre essa problemática. Para ele, a externalidade entre o técnico, o social e o ambiental se desfaz à medida em que os sistemas ampliam sua abrangência e constroem para si mesmos seu próprio ambiente.

O estudo sobre o projeto do metrô *Aramis* é representativo de seu enfoque sociotécnico. Nele, o técnico, o social e o ambiental se equivalem, pois convergem em um mesmo contexto de troca de materiais e práticas sociais. Para que uma inovação seja bem sucedida, ela necessita de um ambiente híbrido, formado por instituições legitimadas e esquemas técnicos articulados. É nesse ambiente que os inovadores buscam impor novas lógicas e traduzir mecanismos de gestão em formas de conciliação entre interesses diversos.

A transformação do sistema industrial no sentido da implementação de dispositivos multifuncionais e de alta compatibilidade externa e interna é uma necessidade fundamental para atender demandas complexas, e o caminho para o encadeamento se faz através da redistribuição de propriedades técnicas e sociais anteriormente dispersas, como no caso do projeto de *Aramis* (LATOURE, 1992). Este é um claro exemplo de intervenção técnica que não promove impactos sobre o meio ambiente, mas ele mesmo representa a constituição de um novo ambiente na confluência entre espaço urbano, os recursos tecnológicos e o suporte social. Inexistem relações exteriores entre *Aramis* e o que se denominaria de meio ambiente, mas intersecções recorrentes entre o contexto forjado pelo projeto e a atuação múltipla e variada dos setores técnicos e leigos em seus respectivos pontos de vista.

A Sociologia da Inovação proposta por Latour prega com veemência a indissociabilidade entre a realidade técnica e ambiental, impedindo os pesquisadores de pensarem na perspectiva dos impactos ou efeitos de um setor sobre o outro. Faz-se necessário entender como os agentes inovadores criam e recriam contextos que só adquirem existência na confluência dinâmica entre os projetos sociotécnicos e seus respectivos ambientes (FLICHY, 1995; LATOUR, 1992; 1994).

Após essa breve trajetória, conclui-se que a constituição de paradigmas tecnológicos que privilegiem a inovação constante e a difusão descentralizada são premissas essenciais para a sustentabilidade ambiental, e que não se encontram ainda devidamente presentes nesse debate, muitas vezes submetido a posturas anti-técnicas e reducionismos.

## CONCLUSÃO

A atividade tecnológica adquire uma abrangência reticular no mundo contemporâneo. Não é mais possível conceber a política tecnológica moderna sem pensar em termos de redes de pesquisadores e projetos integrados e interdisciplinares.

De forma semelhante a questão ambiental possui um aspecto global, em que as fronteiras territoriais e as políticas nacionais são profundamente marcadas por tendências que operam em escalas superiores.

O argumento central desse artigo foi o de demonstrar que o desenvolvimento tecnológico atento aos problemas ambientais não podem ser empreendido topicamente, mas se articulando em uma escala mais abrangente e integrativa, em um passo acima. E, para isso, o conceito de inovação adquire importância fundamental, a despeito de sua origem econômica restritiva e seu enfoque notadamente corporativo.

Dois grandes obstáculos são apontados pela teoria da inovação em relação à área ambiental: a relação entre forças de estabilização e inércia tecnológica por um lado e as perspectivas de rupturas tecnológicas e institucionais de outro; e a possibilidade das políticas de regulação ambiental inviabilizarem práticas ousadas de inovação e favorecerem alterações pontuais e incrementais.

Cabe ao ambientalismo, entre outros setores contemporâneos, seqüestrar a inovação do interior das grandes corporações e agências governamentais e disseminá-la para o conjunto dos grupos sociais, criando condições para o estabelecimento de ambientes plurais e eficientes. A lógica do risco e da precaução não podem impedir a experimentação constante e a busca de eficiência tecnológica, desde que conjugados aos imperativos da democracia e da sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSUBEL, J. The liberation of the environment, *Daedalus*, v. 125, n.03, 1996.
- BOSQUET, M. **Ecologia e Política**, Lisboa, Editorial Notícias, 1976.
- BRUESEKE, F. **A técnica e os riscos da modernidade**, Florianópolis, UFSC, 2001.
- “A modernidade técnica”, *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, v. 17, n. 49, p. 135-144, 2002.
- CALLON, M. “Society in the making: the study of technology as a tool for sociological analysis”, In: BIJKER, W. et al. (eds.) **The social construction of technological systems**, Mass., Cambridge, MIT Press, 1987.
- CASSIOLATO, J.E. & LASTRES, H. “Sistemas de Inovação: políticas e perspectivas”, *Parcerias Estratégicas*, n. 08, p. 237-255, 2000.
- COMMONER, B. **The closing circle**, New York, Bantam Books, 1974.
- CORAZZA, R. **Políticas públicas para tecnologias mais limpas: uma análise das contribuições da economia do meio ambiente** tese defendida no Instituto de Geociências, Unicamp, Campinas, 2001.
- DICKSON, D. **Tecnología alternativa**, Madrid, H. Blume, 1980.
- DUPUY, J.P. **Introdução à crítica da ecologia política**, Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, 1980.
- FEENBERG, A. **Critical theory of technology**, Oxford, Oxford University Press, 1991.
- **Questioning technology**, London, Routledge, 1999.
- FLICHY, P. **L’innovation technique**. Paris, La Decouverte, 1995.

- FORAY, D. & GRÜBLER, A. Technology and the environment: an overview, *Technological forecasting and social change*, v. 53, n.01, september 1996.
- FREEMAN, C. **The economics of hope**. London, Pinter, 1992.
- **Economics of industrial innovation**, Cambridge, MIT, 1982.
- The greening of technology and models of innovation, *Technological forecasting and social change*, v. 53, n. 01, september 1996.
- GIBBONS, M. et al. **The new production of knowledge**, London, Sage, 1994.
- GILLE, B. **Histoire des techniques**, Paris, Gallimard, (Encyclopédie de la Pléiade) 1978.
- GRÜBLER, A. Time for a change: on the patterns of diffusion of innovation, *Daedalus*, v. 125, n.03, 1996.
- LATOURET, B. **Aramis ou l'amour des techniques**, Paris, La Découverte, 1992.
- **Jamais fomos modernos**, São Paulo, Ed. 34, 1994.
- **Ciência em ação**. São Paulo, Unesp, 2000.
- LEMOES, C. "Inovação na era do conhecimento", *Parcerias Estratégicas*, n. 08, p.157-179, 2000.
- MACIEL, M.L. "Inovação e conhecimento" In: SOBRAL, Fernanda et al. (orgs.) **A alavanca de Arquimedes – ciência e tecnologia na virada do século**, Brasília, Paralelo 15, 1997.
- MCCORMICK, J. **Rumo ao paraíso**, Rio de Janeiro, Relume-Dumará, 1992.
- MEADOWS, D. et al. **Limites do crescimento**, São Paulo, Perspectiva, 1972.
- OPHULS, W. **Ecology and the politics of scarcity**, San Francisco, Freeman, 1977.
- PINCH, T. & BIJKER, W. "The social construction of facts and artifacts: or how the sociology of science and the sociology of technology might benefit each other" In: BIJKER, Wiebe et al. (eds.) **The social construction of technological systems**, Mass., Cambridge, MIT Press, 1987.
- RUTTAN, V. Induced innovation and path-dependence: a reassessment with respect to agricultural development and the environment, *Technological forecasting and social change*, v. 53, n. 01, september 1996.
- SACHS, I. **Ecodesenvolvimento. Crescer sem destruir**, São Paulo, Vértice, 1986.
- SANTOS, L.G. Tecnologia, natureza e a "redescoberta" do Brasil, In: ARAÚJO, H. (ed) **Tecnociência e Cultura**, São Paulo, Estação Liberdade, 1998.
- SCHUMPETER, J.A. **Teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo, Abril (Os pensadores), 1982.
- SIMONDON, G. **Du mode d'existence des objets techniques**, Paris, Aubier-Montagne, 1969.
- SPAARGAREN, G. (ed.) **The ecological modernization of production and consumption**, Wageningen, 1996.
- STIEGLER, B. **Technics and time 1**, Stanford, Stanford University Press, 1998.
- TRIGUEIRO, M.G. "O que foi feito de Kuhn? O construtivismo na Sociologia da Ciência" In: SOBRAL, Fernanda et al. (orgs.) **A alavanca de Arquimedes – ciência e tecnologia na virada do século**, Brasília, Paralelo 15, 1997.
- **O clone de Prometeu**, Brasília, UnB, 2002.