

# Riscos, incertezas e vulnerabilidades: transgênicos e os desafios para a ciência e a governança \*

Marcelo Firpo Porto \*\*

*“Navegar é preciso  
Viver não é preciso”*

Luis de Camões

Artigo

## 1 Introdução: incertezas e vulnerabilidades na compreensão dos riscos complexos

Este artigo discute alguns dilemas e desafios para a ciência e as sociedades contemporâneas na análise e no enfrentamento dos riscos tecnológicos nos quais a aplicação do princípio da precaução vem sendo pleiteada, tendo por referência as discussões sobre incertezas e vulnerabilidades. Ao longo do texto, usaremos os transgênicos como exemplo para as argumentações desenvolvidas.

A discussão sobre o tema das incertezas traz à tona questões epistemológicas fundamentais para clarear o debate sobre os riscos modernos, revelando os limites da ciência e do modelo preventivo clássico de orientarem adequadamente as soluções em contextos altamente complexos e conflituosos. A discussão sobre vulnerabilidade complementa a anterior e é de especial importância para sociedades como a brasileira, marcada por estruturas regulatórias centralizadas, instituições ineficientes

---

\* Este artigo tem origem no *paper* apresentado durante o III Seminário Internacional de Estudos Interdisciplinares “Tecnologias, riscos e incertezas: desafios para uma democratização da ciência”. Doutorado Interdisciplinar em Ciências Humanas – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 15 a 17 de abril de 2004.

\*\* Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana, Escola Nacional de Saúde Pública/ Fundação Oswaldo Cruz (CESTEH/ENSP/FIOCRUZ). E-Mail: firpo@ensp.fiocruz.br

e profundos desequilíbrios – de natureza política, econômica e cultural – na distribuição socioespacial dos riscos e na capacidade de os atores mais vulneráveis obterem recursos e influenciarem os processos decisórios.

O tema dos riscos complexos e incertos faz parte de um contexto mais abrangente de *crise ambiental* das sociedades contemporâneas. Esta crise surge historicamente através da intensificação das discussões e da percepção pública acerca dos efeitos para a saúde humana e dos ecossistemas dos riscos tecnológicos modernos. Desde então, os debates produzidos vêm realizando uma crítica mais ampla ao modelo de desenvolvimento, e aos padrões de produção e consumo das sociedades industrializadas, e desembocam na proposição de conceitos hoje em dia bastante difundidos, como *desenvolvimento sustentável* e o *princípio da precaução*.

Os debates em torno da questão ambiental vêm ganhando destaque no cenário público internacional principalmente a partir da década de 70, através do surgimento de novos fatos científicos e processos sociais que vêm abalando o otimismo tecnológico reinante até então. Dentre eles, podemos destacar:

- 1) a crescente degradação ambiental em várias regiões do planeta e o reconhecimento científico dos riscos ecológicos globais, tais como o chamado efeito estufa, a redução da camada de ozônio, a destruição de florestas e da biodiversidade, a poluição atmosférica e marítima. Com isso, as escalas espaciais e temporais para as análises dos riscos modernos tornam-se cada vez mais amplas e complexas, ao mesmo tempo em que intensificaram os imperativos éticos relacionados à ameaça da continuidade da vida no planeta, iniciados anteriormente com a ameaça da guerra nuclear total;
- 2) o agravamento dos problemas ambientais presentes nas regiões e nos aglomerados urbano-industriais, superpondo os efeitos da poluição industrial, do consumo e dos transportes dos países industrializados com os problemas de infra-estrutura básica e exclusão social, principalmente nos países de industrialização recente e economia periférica;
- 3) a previsão de escassez de recursos naturais básicos para a produção e o consumo das sociedades industriais, o que vem forçando o redirecionamento do pensamento liberal pautado na abundância e na suplantação da escassez. Com isso, surgem novas estratégias de reciclagem e paradigmas na construção de novos campos de conhecimento como a Economia Ecológica, baseada na incorporação das leis da termodinâmica

e da entropia referentes ao fluxo de materiais e energias da natureza. Campos transdisciplinares como a Economia Ecológica e a saúde de ecossistemas têm sido espaços avançados na discussão de temas como complexidade, incertezas e sustentabilidade, unindo desenvolvimento conceitual e propostas de ação transformadoras;

- 4) a crescente pressão política de novos movimentos sociais, tais como grupos locais em áreas de riscos industriais e grupos ambientalistas organizados atuando em níveis regionais, nacionais e mesmo internacionais; de outro lado, movimentos de trabalhadores e grupos sociais discriminados, como negros, mulheres e povos étnicos tradicionais, passam a incorporar a questão ambiental através do movimento da justiça ambiental, enfatizando como sociedades desiguais acabam por destinar os danos ambientais mais graves decorrentes do desenvolvimento às populações marginalizadas e vulneráveis.

Riscos complexos e incertos apresentam às sociedades modernas o desafio de tomarem decisões em contextos nos quais a ignorância sobre os possíveis efeitos dos riscos e o que fazer em relação a eles assume um papel central. Nesse novo contexto, torna-se necessária uma mudança fundamental nas bases epistemológicas e institucionais da ciência, que atualmente se encontra baseada no trabalho isolado e reducionista de áreas especializadas de conhecimento, em direção a uma nova ciência da sustentabilidade – ou *Ciência Pós-Normal*, segundo a proposta de Funtowicz e Ravetz (1994). A construção de um modelo de ciência que seja tanto precaucionário quanto democrático e inclusivo busca se pautar em diversos elementos, como: a noção de complexidade; o reconhecimento das incertezas; a integração de conhecimentos através de teorias transdisciplinares, metodologias interdisciplinares e participativas; a pluralidade de interesses e valores legítimos em jogo.

Por sua vez, a combinação de riscos complexos e incertos com a existência de vulnerabilidades sociais e institucionais torna ainda mais explosiva a dialética produção-destruição inerente aos atuais modelos de desenvolvimento econômico e tecnológico. Em condições de intensos investimentos econômicos e tecnológicos, somados aos conflitos distributivos que concentram renda e poder, a geração de riscos passa a ser sistêmica e eventualmente incontrolável, e reverter tal tendência encon-

tra-se na base de importantes movimentos sociais e ecológicos surgidos nas últimas décadas, da noção de sustentabilidade e da proposição do princípio da precaução.

Nesse artigo, a referência conceitual sobre vulnerabilidade se baseia em grande parte nos trabalhos desenvolvidos no campo dos desastres, tanto de origem natural como tecnológica, os quais são analisados a partir de aspectos sociais, políticos e econômicos (Winchester, 1992; Horlick-Jones, 1994; Blaikie et al., 1996). Para estes autores, a vulnerabilidade designa tanto os processos geradores quanto as características das populações e regiões que possuem maiores dificuldades em absorver os impactos decorrentes de diferentes eventos de risco. Tais eventos provêm tanto dos riscos naturais físicos (terremotos, ciclones, vulcões e inundações) e biológicos (pandemias), quanto dos desastres tecnológicos, por exemplo, explosões, incêndios e contaminações em plantas nucleares e químicas. Quantitativamente, uma forma de a vulnerabilidade social ser avaliada consiste na observação dos efeitos diferenciados – por exemplo, o número de vítimas – em distintas regiões que enfrentaram riscos tecnológicos e naturais similares, ou seja, que possuem níveis semelhantes de concentração de energias, materiais e substâncias perigosas. Exemplos clássicos são os efeitos de furacões e terremotos similares em países como os EUA e outros do continente asiático, ou ainda o acidente químico ocorrido em 1984 na cidade de Bhopal, Índia, o qual é considerado o maior desastre industrial da história em termos do número de mortes imediatas (Porto e Freitas, 1996).

Em nosso trabalho, também buscamos articular o conceito de vulnerabilidade às discussões da Ecologia Política (Martinez-Allier, 2002) e da Justiça Ambiental (Bullard, 1996; Acsehrad, Herculano e Pádua, 2004). A partir dessas contribuições, podemos entender as vulnerabilidades como decorrentes de modelos de desenvolvimento que, em nome do crescimento produtivo e econômico, introduzem e multiplicam diversos riscos ambientais, ao mesmo tempo em que reproduzem relações sociais que concentram poder e riqueza. Os processos geradores de vulnerabilidades sociais permitem a (re)produção social de populações, setores produtivos e territórios vulneráveis aos riscos, ao mesmo tem-

po em que as instituições responsáveis pela sua regulação e controle não atuam de forma efetiva, pelo menos para certos grupos e territórios, e os processos decisórios não incorporam os interesses e a participação dos grupos mais vulneráveis. Nessa perspectiva, as vulnerabilidades podem ser compreendidas como resultantes de gradientes ou diferenciais de exposição dos grupos que vivem mais à periferia social e econômica do desenvolvimento e acabam por arcar com as principais cargas ambientais. Riscos em contextos vulneráveis são, portanto, uma questão de (in)justiça ambiental.

Este artigo está organizado da seguinte forma: o próximo item apresenta a definição de três tipos de incertezas (*risco*, *indeterminância* e *ignorância*) como ponto de partida para questionar a capacidade de a análise de riscos clássica, adotada como ferramenta para os processos decisórios e de regulação, enfrentar os riscos complexos e incertos. Estes riscos – como os relacionados aos OGMs e aos alimentos transgênicos – envolvem situações nas quais os sistemas sociotécnico-ambientais são bastante complexos, as incertezas e os valores em jogo são elevados, as consequências podem ser desastrosas, e os governos e sociedades sofrem pressões políticas e econômicas para que as decisões sejam tomadas rapidamente. Em seguida, o artigo discute o paradigma preventivo clássico que vinha orientando a regulação e o gerenciamento de riscos e incertezas das inovações tecnológicas ao longo de várias décadas, até a emergência de um novo paradigma pautado no princípio da precaução.

Os itens 4 e 5 discutem especificamente o caso dos transgênicos, tentando demonstrar o elevado nível de complexidade e de incertezas relacionados aos impactos dessa tecnologia sobre o meio ambiente e o conjunto da sociedade. Ainda que resumidamente, indicamos algumas das vulnerabilidades existentes em países como o Brasil a partir, de um lado, do balanço social e econômico dos possíveis perdedores e ganhadores com os transgênicos e, de outro, das dificuldades institucionais enfrentadas por países periféricos da economia globalizada para regular e controlar os impactos da biotecnologia, apesar da maior velocidade de expansão justamente nesses países.

Finalmente, na conclusão sugerimos alguns caminhos a serem trilhados na construção de uma ciência para a sustentabilidade que incorpore o princípio da precaução, assim como algumas estratégias para o desenvolvimento de uma nova prática regulatória e institucional que enfrente os desafios apresentados pelos riscos complexos e incertos como os transgênicos.

## 2 Riscos, incertezas e complexidade

Giampietro (2002), ao discutir os OGM's, distingue três tipos de incertezas, quando avaliamos as possíveis conseqüências das tecnologias para a saúde e o ambiente: **risco**, **indeterminância** e **ignorância**. A base dessa classificação está relacionada ao nível de complexidade dos sistemas envolvidos e à capacidade do próprio conhecimento científico em apreender tal complexidade na geração de modelos analíticos e preditivos.

- 1) O conceito de *risco* é adotado quando possuímos uma base consistente de dados históricos ou experimentais e podemos modelar bem o problema, definindo com acurácia conseqüências, probabilidades e cenários futuros. As incertezas transformam-se em riscos conhecidos e passíveis de serem mensuráveis em função de serem produtos de sistemas relativamente estáveis e mensuráveis. Este conceito de risco se assemelha ao de *riscos reconhecíveis*, adotado por alguns autores das Ciências Sociais (Oliva, 2004). Ou seja, pelo menos teoricamente, sabemos tanto prever como controlar os riscos, embora na prática isso possa não ocorrer. Apesar de serem reconhecíveis e manejáveis, em situações reais nem sempre os cálculos dos riscos são realizados ou as medidas preventivas mais eficientes são implementadas. Isso pode acontecer em contextos vulneráveis, ou seja, em regiões cujas infra-estruturas técnico-científicas e econômicas sejam inadequadas, ou não haja suficiente interesse e força política para proteger os grupos populacionais vulneráveis mais afetados pelos riscos. Nesses contextos, as incertezas e as conseqüências tendem a aumentar.
- 2) Já a *indeterminância* se aplica quando conhecemos o problema, temos modelos bem estruturados, mas não se pode prever sem grandes margens de erros como o sistema analisado se comportará no futuro. O problema da incerteza aqui decorre não da falta de modelos nem de infra-estrutura, mas sim da existência de fenômenos com múltiplos elementos, processos não-lineares e *feedbacks* operando em distintas escalas espaciais e temporais que dificultam previsões precisas. Um exem-

plo clássico é o da previsão do tempo numa cidade ou região dentro de algumas semanas. Ao lidarmos com problemas assim, devemos nos preparar para enfrentar os cenários possíveis mais relevantes e graves, dado que não é possível saber com precisão a probabilidade de ocorrência de nenhum deles. Um exemplo é a preparação de planos de emergência em áreas onde teoricamente podem ocorrer furacões, terremotos, enchentes ou acidentes graves de grandes proporções em áreas adjacentes a indústrias perigosas, como as químicas e nucleares (Freitas, Porto e Machado, 2000).

- 3) Finalmente, a *ignorância* ocorre em situações tão complexas que a ciência sequer possui modelos adequados para prever e atribuir os cenários futuros mais relevantes. Este tipo de incerteza se assemelha ao conceito de risco especulativo desenvolvido por alguns autores da Sociologia do Risco (Oliva, 2004). A ignorância ocorre com problemas envolvendo sistemas complexos abertos ou adaptativos, caso tanto da complexidade ordinária dos ecossistemas quanto da complexidade emergente ou reflexiva dos seres humanos. Na *complexidade ordinária* que caracteriza os sistemas biológicos não humanos, há uma ausência da autoconsciência e de propósitos mais completos por parte dos seres vivos, com um padrão de organização mais voltado à complementaridade de competências e de cooperação, como a predação, o parasitismo e a simbiose. Já a *complexidade emergente ou reflexiva* dos sistemas sociais, técnicos ou mistos, que incluem os seres humanos possui características como intencionalidade, consciência, representações simbólicas e moralidade (Funtowicz e De Marchi, 2000).

Para os sistemas complexos ordinários ou reflexivos, modelos de comportamento baseados em análises parciais do passado não podem fornecer qualidades relevantes suficientes para prever cenários futuros. Portanto, para tais sistemas, podemos falar de uma ignorância epistemológica que transforma a previsão em mero exercício de futurologia, ainda que relevante para o estabelecimento de alguns cenários. Para exemplificar, jamais poderemos prever com precisão como será o futuro de um recém-nascido ou, em escalas temporais bem maiores, como será um ecossistema dentro de milhares de anos. Esse tipo de incerteza traz consigo um aspecto interessante, porém simultaneamente nebuloso quando levamos em consideração as possíveis consequências negativas: as novidades – e, conseqüentemente, também as tragédias – são apreendidas com a experiência. Este pode ser o caso de muitas das novas tecnologias, como os transgênicos.

### 3 Enfrentando as incertezas: o paradigma preventivo clássico e o princípio da precaução

Tendo por base uma visão retrospectiva de como as incertezas vêm sendo manejadas historicamente, pode-se argumentar que boa parte do progresso científico e tecnológico vem ocorrendo dessa forma: à medida que novas tragédias surgem, decorrentes de tecnologias perigosas cujos riscos foram desprezados ou então as incertezas assumiam um papel central, a experiência e o desenvolvimento científico-tecnológico reduzem o grau de ignorância, e novas medidas preventivas e de controle são introduzidas. Todas as áreas tecnológicas, de certa forma, apresentam essas características, e a existência de um risco zero representaria a imobilização das forças produtivas inovadoras que levariam ao progresso técnico e humano. Veículos em velocidade sempre produzem acidentes, ainda que limitados por técnicas preventivas diversas e sempre em evolução. Esse conjunto de medidas de regulação e controle de riscos está associado ao paradigma preventivo clássico, o qual assume que os riscos tecnológicos são sempre passíveis de serem reconhecidos e controlados, ainda que com alguns transtornos nas fases iniciais da inovação a serem superadas pelo aprimoramento contínuo do conhecimento técnico-científico, da legislação, da atuação institucional e dos profissionais.

Um problema particular para o manejo dos riscos surge nas fases iniciais de implementação dos novos sistemas técnicos. Isso pode ser visto em alguns episódios trágicos na própria história da ciência e da tecnologia: os fundadores de vários ramos da Química e da Física Nuclear morreram por doenças ocupacionais cujos mecanismos operativos somente foram descobertos anos mais tarde. Porém, com a experiência e o desenvolvimento de modelos analíticos mais precisos, ocorre uma redução substancial no nível de incertezas e no aumento da segurança. Processo semelhante também ocorre com várias tecnologias e produtos, cujos testes para o controle de qualidade nas fases de projeto e produção inicial não conseguem captar falhas importantes. Conseqüentemente, podem ocorrer eventos de risco como acidentes ou contaminações, e posteriormente as falhas são corrigidas.

No caso dos acidentes relacionados aos sistemas sócio-técnicos mais estáveis envolvendo tecnologias de transporte ou produção, importante parcela das incertezas reside na imponderabilidade do comportamento humano. Aqui as principais técnicas de gerenciamento de riscos e redução das incertezas consistem, além de evitar falhas nos componentes técnicos, no aumento tanto da confiabilidade dos sistemas técnicos diante das possíveis falhas humanas, quanto no aumento da confiabilidade humana em si, por exemplo, através de novos mecanismos organizacionais e sociais que reforcem a competência dos operadores dos sistemas técnicos perigosos ao lidarem com situações de risco.

Porém, para autores como Charles Perrow (1984), nem sempre é possível manter os sistemas sociotécnicos mais complexos e perigosos estáveis, que dessa forma passam a produzir “acidentes normais”. Nos *sistemas complexos altamente interligados*, caso das indústrias de processo químicas e nucleares, e em parte a aeroespacial, ocorrem disfunções em certos subsistemas que podem, através do chamado efeito dominó, levar a acidentes sistêmicos que são relativamente raros, porém em boa parte imprevisíveis. Nesses acidentes, todo ou expressiva parte do sistema é destruído, implicando prejuízos de enorme valor. Os acidentes nas usinas nucleares de Three Mile Island, nos EUA em 1979, e de forma bem mais grave o de Chernobyl, na antiga União Soviética em 1984, seriam exemplos deste tipo de acidente sistêmico. Tais sistemas perigosos foram grandes impulsionadores da moderna Engenharia de Segurança e da Ergonomia contemporânea no desenvolvimento de novas técnicas de análise de confiabilidade (Porto e Freitas, 1997). Contudo, e apesar de tais avanços, a continuidade de vários desastres industriais nesses setores reforça não somente a validade da proposta conceitual de Perrow, mas a discussão sobre a aplicação do princípio da precaução nesses setores industriais.

Uma questão central a ser feita nesse momento se refere às possíveis razões para as crescentes críticas quanto à adequação do paradigma preventivo clássico na regulação de certas tecnologias modernas e seus riscos, como a Engenharia Genética, e sua conseqüente substituição por um novo paradigma pautado no princípio da precaução.

No paradigma preventivo clássico, a racionalidade científica assume um papel central para os sistemas de regulação e controle dos riscos, através de instituições e corporações técnico-científicas especializadas que se estruturam de forma vertical e fechada aos não especialistas, vistas como “leigos” sem competência para decidir. A perspectiva ideológica que sustenta esse paradigma é a do otimismo tecnológico (Strand, 2001), o qual enxerga no progresso científico e tecnológico um bem em si, cujos males devem ser vistos como menores e circunstanciais, já que o próprio desenvolvimento científico e tecnológico sempre vai, com o tempo, reduzir as incertezas ao nível de riscos aceitáveis e controláveis.

Em outras palavras, e utilizando o jargão estatístico, assume-se que os prejuízos de incorrer num *erro do tipo I* – rejeitar uma tecnologia por ser considerada insegura, quando na verdade os benefícios seriam bem maiores – são mais relevantes do que o *erro do tipo II* – aceitar uma tecnologia como sendo segura, mas que o tempo pode revelar ser extremamente perigosa. Eventuais prejuízos seriam, portanto, preços conjunturais a serem pagos pelo progresso científico, tecnológico e econômico, o qual deveria ser bloqueado apenas nos casos incontestáveis em que não houvesse um claro benefício líquido nas análises de custo-benefício cientificamente autorizadas. Até que se prove o contrário, toda inovação tecnológica seria, em si, essencialmente positiva para o progresso das sociedades.

A ideologia do otimismo tecnológico, que também pode ser entendido como uma espécie de fetiche do desenvolvimento econômico-produtivo, influenciou historicamente tanto a visão econômica liberal quanto em parte o próprio pensamento marxista crítico, o que pode ser ilustrado pela expressão “*desenvolvimento das forças produtivas*”. O otimismo ou fetiche tecnológico exerceu – e ainda exerce – um poderoso papel na formação das sociedades modernas, contribuindo para que a relação dialética entre produção-destruição se mantivesse ausente da noção moderna de progresso científico e tecnológico.

Portanto, e apesar dos crescentes riscos tecnológicos disseminados ao longo de toda a industrialização, o paradigma preventivo clássico permaneceu intacto até principalmente os anos 70 do século XX. Uma forma de entendermos as mudanças que

vêm ocorrendo desde então se encontra no crescente reconhecimento de novos graus de complexidade e incertezas relacionados aos efeitos ambientais dos riscos tecnológicos modernos. Um fato de particular importância foi o reconhecimento da natureza extensiva (Wynne, 1987) de diversos impactos das tecnologias modernas, como a contaminação química. Além de poderem afetar as pessoas nos locais onde vivem e circulam, tecnologias com riscos extensivos interagem com territórios e ecossistemas mais amplos, exigindo unidades espaço-temporais de análise cada vez maiores.

Isso vem provocando cada vez mais um questionamento dos resultados das análises custo-benefício reducionistas: os investimentos produtivos e a difusão de tecnologias podem gerar vários benefícios em curto prazo, porém, prejudicar a vida de ecossistemas ou de futuras gerações. A mudança de enfoque e de escalas pode fazer que uma análise pautada no paradigma preventivo clássico de custo-benefício de investimentos e tecnologias, cujos resultados aparentemente gerassem um benefício líquido considerado garantido, possa se transformar em fontes de grandes incertezas, angústias e prejuízos difíceis de serem contabilizados.

Além disso, as análises custo-benefício possuem uma limitação fundamental, que é a da própria ciência positivista, ao considerar as ciências experimentais como o modelo por excelência do conhecimento humano. Ao reduzirem a análise “objetiva” somente ao que é passível de mensuração quantitativa, deixam de lado e desprezam as incertezas dos sistemas mais complexos, assim como os fenômenos éticos e valorativos que são essenciais ao viver humano. Por exemplo, qual o valor de uma cultura ou de uma vida que pode ser eliminada diante da difusão de determinada tecnologia? A Economia Ecológica busca superar tal limitação ao reconhecer a incomensurabilidade de muitos bens e valores como um desafio central a ser incorporado pela economia, em articulação com outros campos do conhecimento, argumento esse aprofundando pelo excelente artigo de Funtowicz e Ravetz (1995) intitulado *Qual o valor de um rouxinol?*.

Riscos extensivos sempre envolvem níveis elevados de complexidade e incertezas. A indeterminância e a ignorância relacionadas aos riscos extensivos não se referem apenas às dificulda-

des de prever o comportamento de ecossistemas em médio e longo prazos, mas também aos problemas em serem firmados compromissos diante da variedade de grupos sociais e de interesses envolvidos, que são de natureza econômica e política, mas também cultural e ética. Problemas socioambientais imbricam as complexidades ordinária e reflexiva num emaranhado de múltiplas dimensões e interações, cujo decifrar exige novas formas de pensar, interagir e atuar que se encontram fora do alcance da ciência normal dos especialistas ou do paradigma preventivo clássico.

Conforme já dito na introdução, a percepção pública sobre a gravidade das tecnologias com riscos extensivos vem se ampliando não somente com a degradação acelerada de vários ecossistemas e a perda da biodiversidade, mas também a partir do reconhecimento dos riscos ecológicos globais, como as mudanças climáticas decorrentes do efeito estufa e a redução da camada de ozônio. Os riscos ecológicos globais decorrem do desequilíbrio existente entre, de um lado, um crescimento econômico pautado em tecnologias produtivas e padrões de consumo essencialmente poluentes e entrópicos (geradores de desordem e desorganização) e, do outro, a capacidade da natureza de absorver tais impactos. Sob a ótica ambientalista, os riscos ecológicos globais reforçam a crítica aos modelos de desenvolvimento vigentes, realizadas principalmente a partir da constatação dos efeitos presentes ou das tendências futuras decorrentes, dentre outros fatores:

- (a) do consumo de matérias-primas e fontes energéticas intensivas e não-recicláveis;
- (b) da extração de energia de baixa entropia dos combustíveis fósseis (carvão e petróleo);
- (c) da poluição crescente e acumulativa dos vários compartimentos ecossistêmicos (água, ar e solo);
- (d) da crescente degradação de ecossistemas provocada não somente pelos itens anteriores, como pela ocupação do solo para fins agrícolas, urbanos e industriais.

O princípio da precaução surge como resposta a estas críticas e inquietações, invertendo os pressupostos do paradigma

preventivo clássico para o caso das tecnologias cujas incertezas e potenciais prejuízos sejam considerados muito elevados. E isso pode ser considerado não somente para as gerações atuais, mas também para as gerações futuras, quando avaliamos as consequências em longo prazo. Inverte-se também o ônus da prova e dos marcos regulatórios: o que a sociedade passa a exigir dos proponentes das novas tecnologias e das agências reguladoras não é propriamente a avaliação científica da existência dos riscos, mas sim da sua inexistência, ou melhor, de uma avaliação global dos impactos que reduza substancialmente os temores quanto às novas tecnologias e os investimentos.

Na prática, o princípio da precaução tende a provocar uma radical redução na velocidade de inovação e difusão das tecnologias enquadradas como passíveis de sua aplicação, como no caso da moratória adotada pela União Européia ao cultivo de grãos geneticamente modificados. Esse dilema vem provocando uma grande batalha política e comercial em fóruns internacionais e no interior das nações. No caso dos alimentos geneticamente modificados, os conflitos expressam-se nos próprios critérios adotados por organizações como OMC, pautada por uma visão utilitarista e liberal de risco, e o Protocolo de Cartagena de Biossegurança (Oliva, 2004), que se aproxima do princípio da precaução.

#### **4 Compreendendo a complexidade e as incertezas no caso dos transgênicos**

Os possíveis efeitos da biotecnologia para a saúde e o ambiente, em especial os decorrentes da aplicação das técnicas de Engenharia Genética em vários campos, bem como seus impactos no plano cultural, jurídico, moral e religioso, possivelmente representam o mais radical e controverso exemplo de riscos complexos e incertos da atualidade. Encontram-se em jogo não apenas as elevadas incertezas quanto aos efeitos para a saúde humana e dos ecossistemas, mas uma radical alteração da própria condição humana, ao se tentar assumir um novo papel de criação e manipulação dos processos de geração e funcionamento da vida humana e não humana.

Segundo Clark et al. (2002), a moderna era da biotecnologia inicia-se nos anos 70 como resultado de duas inovações revolucionárias desenvolvidas pela Biologia Molecular: (1) a descoberta de que se poderia isolar o gene de um organismo e inseri-lo no genoma de outro, abrindo com isso a possibilidade de alterar as características genotípicas de um organismo; (2) o desenvolvimento de novas técnicas de fusão e multiplicação de células.

Desde então, a Biologia Molecular vem se especializando no estudo da organização e da função dos genomas, gerando um campo disciplinar específico denominado de *genômica*. O potencial de desenvolvimento tecnológico das novas descobertas fez com que grandes corporações multinacionais dos ramos farmacêutico e químico, principalmente dos EUA e da Europa, passassem a realizar pesados investimentos em P&D nessa área.

A ênfase de nosso artigo recairá sobre a aplicação da biotecnologia na agricultura, em especial o desenvolvimento de plantas transgênicas e alimentos geneticamente modificados, ou simplesmente os transgênicos. Antes de continuarmos, porém, cabe esclarecer algumas diferenças importantes entre as aplicações da Engenharia Genética na agricultura e em outras áreas, como a Medicina e a saúde humana. Frequentemente, a não diferenciação entre as diversas aplicações camufla aspectos importantes para o debate, como os tipos de complexidade e de incertezas em jogo. Isso ocorre, por exemplo, quando se colocam lado a lado produtos biotecnológicos totalmente distintos em termos de processos, riscos e incertezas, ou mesmo de questões éticas e morais, tais como a insulina humana sintética introduzida no mercado dos EUA em 1982 e a soja resistente ao glifosato.

Segundo Essenberg e Stokes (apud Clark et al., 2002), podemos classificar dois grupos de riscos decorrentes das aplicações da biotecnologia:

- 1) os riscos associados aos processos biotecnológicos e produtos intermediários produzidos em ambientes fechados de laboratórios;
- 2) os riscos potenciais e as incertezas dos impactos decorrentes da liberação de produtos biotecnológicos em ambientes abertos, particularmente em função do processo de transferência e reprodução das novas cargas genéticas e organismos geneticamente modificados.

No primeiro grupo, quando as condições de segurança existentes nos laboratórios efetivamente são confinadas e os impedem de se transformarem num caso do segundo grupo, possivelmente a questão mais relevante até o momento em termos de impactos se refira aos dilemas éticos, morais e de saúde pública relacionados a algumas aplicações no campo da saúde humana e animal, como as técnicas de clonagem, as terapias genéticas, e a produção de medicamentos e vacinas. Ainda que algumas dessas técnicas impliquem novas cargas genéticas a serem repassadas na reprodução de seres humanos e espécies animais, principalmente para seres humanos é a dimensão ética e moral que vem forçando a implementação de regras rígidas para a pesquisa e a comercialização nessa área, como a proibição da clonagem e pesquisas com embriões.

É no segundo grupo, porém, que se encontram as maiores incertezas em termos dos possíveis impactos ambientais, dada a natureza extensiva da liberação de novas cargas genéticas e OGMs na natureza. Os riscos provenientes dos “novos” organismos são ainda uma incógnita, pois não existem metodologias seguras que avaliem adequadamente os processos adaptativos – e eventualmente catastróficos – dos ecossistemas em médio e longo prazos.

Um dos argumentos dos defensores dos transgênicos é que a preocupação com a introdução de novas cargas genéticas no ambiente desconheceria a incessante troca de material genético por processos naturais responsável por processos evolucionários presentes desde o início da vida no planeta. Também o chamado fluxo gênico vertical, que ocorre entre plantas e variedades da mesma espécie ou entre espécies aparentadas, vem sendo provocado há milhares de anos através do desenvolvimento da agricultura e da criação de animais pelo homem.

Porém, o fato novo provocado pelos transgênicos, motivo central de preocupações e aumento de incertezas quanto aos impactos ecossistêmicos, reside na ruptura de uma regra básica da reprodução dos seres vivos. Na natureza, o chamado fluxo gênico horizontal, relacionado à troca de material genético entre espécies diferentes, é normalmente impedido pela impossibilidade

de de cruzamentos reprodutivos entre tais espécies. Existem algumas exceções isoladas, como casos de bactérias que possuem a propriedade de infectar uma planta e inserir no seu genoma genes exógenos. Mas na natureza a principal causa de modificação genética decorre de processos de mutação que são repassados às gerações seguintes da mesma espécie. Como discutem Valle e Costa (2002), as novas técnicas genéticas permitem

“[...] a introdução de genes em espécies distintas, como por exemplo, uma característica genética do Homem nas plantas, dos animais para as plantas e das bactérias em plantas. Em suma, a capacidade de transferir genes é praticamente ilimitada, e este é o ponto crucial na avaliação do risco, pois o gene, após incorporado, pode ser transmitido para as gerações seguintes”

O equilíbrio da natureza e dos ecossistemas funciona através de uma teia extremamente complexa de relações e ciclos homeostáticos que envolvem o mundo abiótico e biótico em diferentes níveis, desde o molecular, mineral e celular, até os organismos, populações, ecossistemas e a biosfera global. Com a introdução sistemática de novas espécies geneticamente modificadas, os processos adaptativos dos ecossistemas provocariam instabilidades com efeitos imprevisíveis, justo num momento em que se espera um importante estresse ambiental no conjunto da biosfera em decorrência das mudanças climáticas globais previstas para as próximas décadas e séculos. Aliás, para alguns climatologistas e cientistas da saúde ambiental, as implicações já começaram, seja através do aumento de desastres naturais relacionadas ao clima, seja através de novos perigos para a saúde pública, como a febre do Rio Nilo. Suspeita-se que o surgimento e o aumento recente do número de casos dessa doença no continente americano estejam relacionados às novas rotas migratórias de pássaros provocadas pelas alterações climáticas. Ao migrarem para novas regiões, as aves trazem consigo novas espécies de microorganismos antes inexistentes. Assim como o aumento comercial no fluxo de pessoas, plantas e animais provocaram diversas epidemias no passado, processos adaptativos intensos nos ecossistemas poderão vir a provocar novos efeitos no futuro.

Um dos primeiros casos de liberação comercial de transgênicos envolveu justamente a transferência de genes de espécies diferentes, no caso a bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt), que produz uma toxina eficiente contra certas pragas, para plantas como o milho e o algodão. Essa característica da primeira geração de transgênicos de, pelo menos em tese, utilizarem menores aplicações de agrotóxicos tem sido amplamente utilizada como um dos principais argumentos para sua defesa. Contudo, esta argumentação traz consigo uma importante incerteza, associada à possível expansão de espécies resistentes à própria toxina em médio e longo prazos, o que reverteria a tendência inicial de redução de agrotóxicos. Aliás, este é justamente o caso já ocorrido com o uso abusivo de agrotóxicos e mesmo medicamentos como os antibióticos.

Em verdade, boa parte da crítica de cunho ambiental feita aos transgênicos se aplica não somente ao seu uso, mas de forma abrangente aos efeitos dos sistemas agrícolas intensivos que reduzem a biodiversidade regional. Essa importante questão muitas vezes permanece ausente ou periférica nos debates, por exemplo, como se a plantação de soja convencional não transgênica só não pudesse ser considerada saudável aos ecossistemas em função da presença dos agrotóxicos. Ora, a cultura técnica que apregoa o uso intensivo de agrotóxicos alega a impossibilidade de determinada cultura ser economicamente produtiva convivendo com as espécies vegetais e animais nativas existentes numa dada região, daí decorrendo a necessidade de sua exterminação. Portanto, toda e qualquer monocultura de grandes extensões, seja ela intensiva em agrotóxicos, seja em transgênicos, representa a expansão de sistemas ecológicos artificialmente homogêneos. Atualmente 90% da produção mundial de alimentos é restrita somente a 15 espécies vegetais e oito animais, e “[...]um sistema ecológico homogêneo é um desastre esperando para acontecer” (Holling, apud Giampietro, 2002). Nesse sentido, a agricultura transgênica seria apenas um passo mais avançado na disseminação de sistemas agrícolas intensivos, com a conseqüente perda da biodiversidade.

Outra importante fonte de incerteza dos transgênicos está relacionada aos impactos mais abrangentes sobre os ecossistemas. Testes de laboratório não conseguem reproduzir satisfatoriamente

te os testes de campo. Estes, por sua vez, para serem mais efetivos, exigiriam escalas temporais e espaciais que corresponderiam à própria liberação comercial em ampla escala, sendo, portanto, inviáveis quer do ponto de vista econômico, quer da própria biossegurança. Esse é o principal motivo para que os resultados obtidos até o momento nas experimentações realizadas sejam predominantemente inconclusivos e não ofereçam bases para a redução das elevadas incertezas em jogo. Além disso, os resultados obtidos numa dada região ou num ecossistema podem não ser válidos para outros ecossistemas (Clark et al., 2002).

A conclusão central a que chegamos é que, apesar dos esforços da comunidade científica e dos vários experimentos levados a cabo, os transgênicos continuam possuindo um elevado grau de incerteza. Embora existam alguns indícios, como estudos de efeitos negativos sobre ratos alimentados por batatas transgênicas, ainda não foram categoricamente evidenciados os riscos à saúde ambiental e humana. Porém, pelo exposto anteriormente, a ciência jamais poderia afirmar que não existem riscos. Um recente e importante golpe contra os transgênicos, contudo, foram os resultados obtidos em um importante estudo de campo realizado no Reino Unido e publicados no jornal inglês *The Guardian* na edição de 17/10/2003. Experimentos controlados desenvolvidos durante três anos levantaram fortes suspeitas sobre as conseqüências de longo prazo de alguns transgênicos sobre as populações de abelhas, borboletas e pássaros.

Outra curiosa evidência do elevado grau de incerteza dos transgênicos é a recusa sistemática de várias empresas seguradoras européias de cobrirem os eventuais prejuízos dos agricultores associados aos futuros danos decorrentes. Algumas seguradoras chegam a comparar os riscos dos transgênicos com os do asbesto (substância química cancerígena que vem sendo banida em vários países), da talidomida (medicamento sedativo e hipnótico com efeitos teratogênicos que provocaram diversos casos de má-formação ou ausência de membros no feto) e dos atos terroristas. (*The Guardian*, edição de 8/10/2003). Cabe observar que as seguradoras, por ossos de ofício, foram e são um setor estratégico no desenvolvimento e na aplicação de técnicas de avaliação de riscos.

As argumentações favoráveis aos transgênicos fundamentam-se no paradigma preventivo clássico, com muitos especialistas insistindo que ainda não existem evidências acerca dos possíveis riscos, ao mesmo tempo em que desqualificam as percepções e os temores do público em geral como *irracionais* e *não científicos*. Por outro lado, os argumentos contrários se baseiam na aplicação do princípio da precaução e na inexistência de evidências que demonstrariam, de forma mais consistente, a ausência de perigos.

Diante de um assunto tão complexo envolvendo tantas polêmicas e posições divergentes, é compreensível a reação de diversas pessoas que, ao presenciarem debates públicos sobre o tema, confessam ao final dos debates saírem mais confusos ainda do que antes. Essa confusão também expressa o próprio jogo de interesses e as limitações dos processos de regulação existentes de enfrentarem os riscos complexos e incertos.

## 5 Interesses e vulnerabilidades diante dos transgênicos

Uma questão básica que deveria estar sendo discutida numa avaliação global acerca dos impactos dos transgênicos é a seguinte: quem são os principais ou possíveis ganhadores e perdedores com a introdução dos transgênicos numa região ou num país?

Algumas das principais argumentações alegadas pelos defensores dos transgênicos seriam o aumento da produtividade e a possibilidade de finalmente a fome no mundo ser debelada. Entretanto, o fato de ser uma tecnologia intensiva em capital, dependente de investimentos elevados em P&D, desenvolvida por algumas e poderosas empresas multinacionais, não fortalece essa argumentação. De forma similar, a promessa do fim da fome no mundo já havia sido feita anteriormente pela chamada “revolução verde” dos anos 60 e 70. Apoiada no uso intensivo de agrotóxicos, fertilização e irrigação do solo, a revolução verde deixou em seu rastro não só a permanência da fome no mundo como vários desastres ecológicos e de saúde. Países como a Austrália, cuja produtividade agrícola apoiou-se amplamente no uso da irrigação, em decorrência vem aumentando os níveis de salinização do solo com graves conseqüências econômicas para o futuro. A cada dia, países

como o Brasil vêm descobrindo casos alarmantes de contaminação ambiental e humana por agrotóxicos, cujo uso é realizado de forma inadequada por trabalhadores rurais que mal conseguem ler as informações de segurança contidas nos produtos.

E ainda que aceitemos a argumentação de que os transgênicos virão a reduzir o uso de agrotóxicos – o que evidências empíricas atuais e incertezas sobre o futuro a tornam questionável –, a pergunta é quem poderá se beneficiar com essa redução. O fato de os transgênicos serem, por excelência, uma tecnologia a ser aplicada por sistemas agrícolas intensivos e grandes produtores rurais não somente reduz o impacto da eventual redução de agrotóxicos para pequenos produtores mais intensivos em trabalho, como acentuaria, com o tempo, a perda relativa de competitividade destes pequenos produtores. O pagamento de *royalties* e a possibilidade futura de difusão das chamadas tecnologias “*terminator*”, que obrigam os agricultores a comprarem novas sementes das companhias a cada safra, podem inviabilizar o acesso dos pequenos produtores à tecnologia dos transgênicos. Portanto, além de ideológicos, os temores e protestos de movimentos vinculados à agricultura familiar e de menor porte possuem fundamentos econômicos relacionados ao futuro e à sobrevivência do modo de vida desses grupos sociais. No Brasil, embora a agricultura familiar e de pequeno porte represente uma importante parcela do número total de propriedades e trabalhadores rurais, seu poder de influência econômica é incomparavelmente reduzido diante dos representantes do agronegócio exportador de *commodities*, em particular a soja.

Outra questão interessante para ser discutida no Brasil e em outros países se refere à capacidade institucional para analisar e regular adequadamente a introdução de transgênicos. No caso brasileiro, que possui uma relativa base institucional e científica no campo da agricultura e da Biologia Molecular, até o ano 2001 a CTNBio – órgão responsável pela análise e liberação de OGMs – havia aprovado 1097 propostas para testes de campo com OGMs, 879 de milho, 70 de soja, 125 de algodão e 14 de cana-de-açúcar (Oliva, 2004). Entretanto, uma questão em aberto se refere às efetivas condições de controle e supervisão com que os testes de campo aprovados vêm sendo realizados, assim como

a capacidade de os órgãos ambientais e de saúde pública avaliarem efetivamente os efeitos de tais experimentos. Para Clark et al. (2002), é justamente nos países do Terceiro Mundo que a difusão das novas biotecnologias caminha mais rapidamente, expondo-os a novos riscos sem capacidade para manejá-los, sendo, por isso, a região mais vulnerável.

No caso da soja resistente ao agrotóxico glifosato, assunto que ganhou grande destaque na realidade brasileira, além da ignorância quanto aos efeitos de longo prazo, uma questão central é saber quem serão os ganhadores e os perdedores dessa introdução. O debate público deveria girar em torno de um amplo balanço social e ecológico que valha para toda a nação, e não para alguns. Infelizmente, como ainda é costume em nosso país, freqüentemente as decisões acabam sendo tomadas de forma intempestiva ou parcial. Por exemplo, pressionadas pelo fato consumado do contrabando ilegal de grãos no RS ou pelo poderio econômico e político daqueles que conseguem influenciar as esferas mais elevadas de decisão.

O fato de a soja ser uma cultura intensiva de exportação, que alimenta mais os animais do Primeiro Mundo que os brasileiros com fome, faz com que os apregoados aumentos de produtividade não necessariamente tenham caráter redistributivo nem impliquem uma maior oferta de alimentos para a população brasileira. Como grande setor exportador num mercado de *commodities*, a soja tem sido fundamental para o equilíbrio da balança comercial brasileira e a manutenção dos compromissos com credores externos e agências internacionais, mas os efeitos concentradores de renda e de degradação ambiental somente poderão ser revertidos através da implementação de mecanismos claros de indução via políticas públicas, que até agora não se encontram presentes.

## 6 Conclusão: por uma ciência para a sustentabilidade

Segundo uma pesquisa desenvolvida entre 1998 a 2000 em cinco países (Reino Unido, França, Espanha, Itália e França) por várias universidades européias sobre a percepção pública acerca da aplicação da biotecnologia na agricultura (Marris et al., 2002), existe uma profunda lacuna e diversos mal-entendidos a

respeito do que alguns atores – particularmente a indústria, as corporações técnico-científicas e certas instituições governamentais – envolvidos nos processos decisórios pensam sobre a resistência dos cidadãos em geral aos transgênicos. Segundo a pesquisa, tais desentendimentos podem ser expressos através de alguns mitos dominantes que representam a opinião daqueles atores sobre as reações públicas, tais como:

- a causa primordial do problema reside no fato de o público leigo ser ignorante sobre fatos científicos;
- os consumidores europeus estão se comportando de forma egoísta com relação à pobreza e às necessidades do Terceiro Mundo;
- o público pensa – erradamente – que os OGMs não são “naturais”;
- o público demanda um “risco zero”, e isto não é razoável;
- a oposição pública ocorre em função de “outros fatores – éticos ou políticos”;
- o público vem sendo vítima de uma mídia sensacionalista e deturpada.

Porém, as questões surgidas ao longo dos 55 grupos focais criados pela pesquisa indicam a presença de preocupações totalmente razoáveis e legítimas por parte dos cidadãos. Por exemplo:

- Por que precisamos dos OGMs? Quais são seus benefícios, e quem realmente se beneficiará com o seu uso?
- Quem e como decide que os OGMs devem ser desenvolvidos? As autoridades regulatórias possuem poderes e recursos suficientes para efetivamente contrabalançar os das grandes companhias que desejam desenvolver esses produtos?
- As conseqüências de longo prazo têm sido avaliadas? Quais planos existem para ações remediadoras, se e quando ocorrerem impactos prejudiciais imprevistos? Quem serão os responsáveis nesses casos, e como garantir o cumprimento dessas responsabilidades?

Os resultados dessa pesquisa revelam não só uma clara sabedoria dos cidadãos acerca do problema, como também o profundo fosso existente entre especialistas, indústrias e governos com os interesses dos cidadãos, e certamente não apenas no contexto europeu. Esse fosso também se espelha na crescente perda de credibilidade do primeiro grupo junto ao segundo.

Embora não tenha sido realizada nenhuma pesquisa similar na realidade brasileira, é possível supor que muitos dos comportamentos por parte das indústrias, dos especialistas, e instituições técnico-científicas e reguladoras no país não sejam distintas de seus congêneres europeus.

Ao avaliarem a perda de credibilidade como uma simples questão de ignorância do público “leigo”, que precisa ser enfrentada com mais campanhas educativas a respeito da seriedade e confiabilidade da ciência e das instituições, importantes atores como cientistas e instituições reguladoras comportam-se de forma semelhante a uma entidade religiosa, porém com a diferença de não oferecerem nenhum livro revelado que não as próprias e “esotéricas” palavras dos cientistas. Com isso, perdem a oportunidade de refletirem sobre o próprio comportamento das instituições que criam e gerenciam tanto as inovações tecnológicas quanto seus riscos. Ao fazerem isso, também deixam de considerar a ignorância epistemológica existente quanto aos riscos complexos e incertos dessas tecnologias.

A ciência normal e o mundo dos paradigmas isolados dos especialistas, ao não incorporarem as discussões sobre complexidade e incertezas como escopo central na produção de conhecimento, reproduzem uma atitude intelectual perigosa no atual momento crítico por que passa a humanidade: a de não saber, ou mesmo se recusar a saber, o que não se sabe. E ao afirmarem que não existem problemas até o momento, sem simultaneamente alertarem para os limites dessa afirmativa, muitos cientistas e instituições estão expondo ao descrédito a própria ciência quando e se problemas ocorrerem. Aliás, não deixa de ser irônico constatar que, enquanto os críticos dos transgênicos são acusados de dogmáticos e românticos, a afirmação de que não existem riscos, apesar da falta de evidências, consiste basicamente num ato de crença.

Um importante caminho para a suplantação dos limites da ciência diante das novas tecnologias como os transgênicos encontra-se no desenvolvimento de abordagens integradas, transdisciplinares, sistêmicas e participativas na análise de riscos complexos e incertos, e de forma mais abrangente dos impactos globais das novas tecnologias. Tais análises devem permitir a integra-

ção entre as diferentes disciplinas científicas que possuem métodos e resultados de pesquisas legítimos para a capacidade de compreensão dos complexos problemas em jogo. Um objetivo central dessa integração é a busca do conhecimento acerca tanto da complexidade ordinária dos ecossistemas e os possíveis impactos das intervenções humanas sobre a natureza, quanto da complexidade emergente que caracteriza os fenômenos humanos e sociais. Tais fenômenos envolvem necessariamente dimensões éticas, como consciência, moralidade e valores humanos, e possuem uma natureza qualitativa e dialética. Isso significa que processos decisórios não participativos excluirão vários interesses e valores em jogo. Portanto, outra implicação da integração é que as disciplinas científicas devem se abrir a outras linguagens e formas de conhecimento que aproximem o mundo da ciência do mundo do cidadão numa nova forma de compartilhar a compreensão e a decisão sobre problemas tão relevantes para o futuro das pessoas.

Em nossa visão, é preciso ampliar e dar vida às análises sociais, econômicas e técnicas que avaliam o impacto das tecnologias, através de abordagens que incorporem as dinâmicas humanas e ecológicas, democratizem os processos decisórios e a própria prática científica e institucional, fortalecendo a capacidade de atuação daqueles que mais sofrerão com as consequências dos riscos.

Ao incorporar o princípio da precaução como estratégia de regulação, o papel dos governos e das instituições reguladoras deveria ser apoiar o desenvolvimento de abordagens integradas em suas políticas de ciência e tecnologia, estimulando a interação das várias áreas de conhecimento e a formação de grupos interdisciplinares. Esta visão segue a proposta de Strand (2001), que sugere refocalizar a análise das consequências das novas e complexas tecnologias mais na direção de avaliações globais de impactos, e menos para análises localizadas e isoladas de riscos. Esse novo foco deveria incluir aspectos relevantes como à incerteza, ignorância e reflexividade, e que podem ser sistematizados através de perguntas básicas orientadoras das avaliações globais de impacto, tais como: o que nós não sabemos? Qual é a qualidade do nosso atual conhecimento? Caso falem evidências, o que deveria ser feito e quando?

Outro aspecto fundamental para a mudança do paradigma preventivo clássico em direção ao novo paradigma precaucionário é a criação de mecanismos mais participativos e democráticos, não somente para discussão e informação, mas para a própria deliberação de questões complexas e polêmicas na sociedade. Esse processo já se encontra em andamento principalmente na Europa, através das chamadas *Participatory Technology Assessment* – PTAs. Segundo Oliva (2004), estas metodologias democrático-participativas de análise de riscos

“[...]vêm se destacando como contrárias à consideração estrita de aspectos técnico-científicos de análise de riscos e favorável à inclusão dos valores da sociedade na AT – Avaliação Tecnológica. Os pTAs seriam caracterizados por um processo de mão dupla entre peritos e leigos, que possuem igual poder em deliberar sobre questões relacionadas à tecnologia em questão”.

A implementação do princípio da precaução, a valorização do tema das incertezas e a implementação de metodologias participativas amplas não deveriam ser compreendidas como um posicionamento contra o progresso nem contra a ciência. A ciência continuará sendo importante para estruturar problemas complexos como os transgênicos, mas como não há nenhuma solução científica neutra, decisões sábias e justas devem se pautar na explicitação e no equacionamento democrático de intenções, interesses legítimos e incertezas em jogo. O papel de uma nova ciência para a sustentabilidade não deveria ser o de solicitar à sociedade um amplo “salvo-conduto” para levar a cabo seus novos projetos biotecnológicos, mas sim o de servir como uma sábia conselheira aos cidadãos, colaborando na estruturação dos problemas, propondo soluções possíveis para eles e explicitando com clareza e honestidade o que se sabe e o que não se sabe.

Reverter o drama da insustentabilidade da atual civilização significa produzir novos sentidos ao viver humano na formação de ciclos virtuosos de produção e consumo compatíveis com a saúde humana e a dos ecossistemas, que mais do que nunca na história se encontram mutuamente dependentes e ameaçados.

## Bibliografia

ACSELRAD, Henry; HERCULANO, Selene; PÁDUA, José Augusto. **Jus-tiça Ambiental e cidadania**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2004.

BLAIKIE, Piers; CANNON, Terry; DAVIS, Ian; WISNER, Ben. **Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres**. Bogotá: Tercer Mundo Editores, 1996.

BULLARD, Robert. Overcoming racism in environmental decision. *Environment*, v.36, n.4, p. 10-20, 1994.

CLARK, Norman; STOKES, Kathy; MUGABE, John, 2002. Biotechnology and development: threats and promises for the 21<sup>st</sup> century. *Futures* 34:785-806, 2002.

FUNTOWICZ, Silvio e DE MARCHI, Bruna. Ciencia Posnormal, complejidad reflexiva y sustentabilidad. In: Leff, E. (ed), **La complejidad ambiental**. México: Siglo XXI, 54-84, 2000.

FUNTOWICZ, Silvio and RAVETZ, Jerolme, 1993. Science for the Post-Normal Age. *Futures*, 25(7): 739-755, 1993.

FUNTOWICZ, Silvio and RAVETZ, Jerolme, 1994. Emerging complex systems. *Futures*, 26 (6): 568-582.

FUNTOWICZ, Silvio and RAVETZ, Jerolme, 1997. Ciência pós-normal e comunidades ampliadas de pares face aos desafios ambientais. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, vol. IV(2), p. 219-30, 1997.

GIAMPIETRO, Mario. The precautionary principle and ecological hazards of genetically modified organisms. *Ambio*. 31(6): 466-70, 2002.

HORLICK-JONES, Tom. Patterns of Risk and Patterns of Vulnerability. In: AMENDOLA, Antonio; DE MARCHI, Bruna (Eds.), **Workshop on emergency management**. Ispra: Comission of the European Communities – Joint Research Centre – Institute for Systems Engineering and Informatics, p. 33-42, 1993.

KUHN, Thomas, 1987. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1987.

MARTINEZ-ALLIER, Joan. **Environmenatlism of the poor**. Cheltenham: Edward Elgar, 2002.

MARRIS,C.; WYNNE,Brian; SIMMONS, P.; WELDON, S. **Public perceptions of agricultural biotechnologies in Europe**. Final Report of the PABE research project, Contract number: FAIR CT98-3844 (DG12 - SSMI). Bruxelas: Commission of European Communities, 2002.

OLIVA, Luciana Calcagno. **O modelo-padrão de análise de riscos em questão e o surgimento de propostas democrático-deliberativas**. 2004. Dissertação (CPDA) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PERROW, Charles. **Normal accidents: living with high-risk technologies**. New York: Basic Books, 1984.

PORTO, Marcelo Firpo; FREITAS, Carlos Machado. Major chemical accidents in industrializing countries: The socio-political amplification of risk. **Risk Analysis**, 16: 19-29, 1996.

PORTO, Marcelo Firpo; FREITAS, Carlos Machado. Análise de riscos tecnológicos ambientais: perspectivas para o campo da saúde do trabalhador. **Cadernos de Saúde Pública**, 13: 59-72, 1997.

STRAND, Roger. The role of risk assessments in the governance of genetically modified organisms in agriculture. **Journal of Hazardous Materials** 86: 187-204, 2001.

WINCHESTER. **Power, choice and vulnerability: a case study in disaster management in South India, 1977-1988**. London: James & James, 1992.

WYNNE, Brian. **Risk management and hazardous waste: implementation and dialectics of credibility**. Berlin: Springer-Verlag, 1987.

WYNNE, Brian. Uncertainty and environmental learning - reconceiving science and policy in the preventive paradigm. **Global Environmental Change**, 2: 111- 127, 1992.