

A Ciência do Sistema Terra e as disputas epistemológicas e axiológicas do século XXI

José Correa Leite

Plano

Apresentação

O tema da pesquisa

A Grande Aceleração, a escalada da crise ambiental e a Ciência do Sistema Terra

Da geologia às geociências

Da ecologia às ciências ambientais

Uma disputa triangular: a defesa da ciência, mas de qual ciência?

Fausto ou Gaia: dominação da natureza ou sabedoria na relação com a Terra?

Objetivos

Cronograma

Referências

Apresentação

Este projeto de pesquisa emerge de questões suscitadas pela minha tese de doutorado (LEITE 2004). Tratando das afinidades eletivas entre as formas da política e da ciência modernas, localizava um ponto de grande tensão: ambas se ancoram na idéia de progresso e de desenvolvimento cada vez mais identificadas com crescimento econômico e em uma relação específica entre sociedade e natureza insustentável, que está hoje em crise. Mais precisamente, há uma brecha crescente entre os imperativos da economia capitalista em expansão perpétua, cujo dinamismo depende da tecnociência, e os de uma biosfera planetária submetida a um estresse cada vez maior.

Ficou patente, a partir de de estudos como o Relatório Stern (2006) e o Quarto Relatório do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas, IPCC (2007), que esta questão é central em múltiplas dimensões da vida atual – ambiental, econômica, geopolítica, social e cognitiva. Procurei, desde então, mapear, em artigos acadêmicos (LEITE 2008, 2009 e 2011), os contornos desta problemática, ao mesmo tempo que acompanhava os impasses que marcam, a cada ano, as Conferência das Partes da Convenção do Clima da ONU.

As dimensões epistemológicas e axiológicas são cada vez mais centrais nesta problemática. A ciência atual apóia-se em abordagens descontextualizadas, direcionadas principalmente para o controle da natureza e regidas pelo *ethos* científico-comercial

(LACEY 2008). Mas como enfrentar os desafios de nossa época se a forma de conhecimento dominante, a única dotada de ampla legitimidade na sociedade é, em boa medida, ela própria uma das responsáveis pela crise que assoma, e se ela não é problematizada de forma imanente, a partir dos parâmetros que estabelece para si mesma? Como afirmar um pluralismo metodológico no campo científico? Que formas de conhecimento poderão orientar novas formas de ação e novos projetos de sociedade capazes de superar a crescente crise ambiental? Os problemas são de monta, demandando uma reflexão filosófica abrangente.

O tema da pesquisa

A ciência nasce, no século XVII, com uma alma dupla, buscando um entendimento abrangente e verificável da realidade e o controle das forças da natureza. Descartes e Bacon expressam a dupla vocação desta nova forma de conhecimento, a ciência experimental e matematizável, que veio à luz com Galileu e Newton. Sua trajetória posterior confirma a simbiose entre os dois aspectos – tendo cada vez mais o domínio da natureza como força motora. Este propósito aproxima ciência e técnica até a formação da tecnociência como um grande empreendimento capitalista, colocando-a, no século XX, no coração da economia contemporânea – fonte de acumulação de capitais, crescimento permanente e progresso (ou ainda poder estatal, como no caso da antiga União Soviética).

Tanto o lugar da tecnociência na sociedade como o papel que nela desempenha o cientista estão desenhados com clareza em um conhecimento organizado cada vez mais, a partir do século XIX, em disciplinas especializadas. Elas buscam decifrar os segredos do mundo físico para colocar o ser humano em uma posição de comando, reduzindo o papel do acaso em nossa existência. Mesmo em casos extremos, como o do desenvolvimento das armas nucleares, não se questionava esta “verdade” (SMITH 2008). Conhecimento é poder e ele é produzido para ser utilizado. A preocupação de que este uso gere grandes catástrofes foi intuída pela literatura romântica (*Fausto* de Goethe, *Frankenstein* de Mary Shelley) e é um dos grandes temas do pensamento filosófico do século XX. Weber vai diagnosticar a disjuntiva entre a razão substantiva da tradição filosófica clássica e a razão instrumental moderna, cada vez mais eficiente para os objetivos circunscritos que lhe colocam, mas incapaz de orientar sabiamente os usos dos poderes novos de que agora dispõe a

humanidade – e que são utilizados também para a dominação social. A este debate dedicarão seus melhores esforços Adorno, Horkheimer, Marcuse, Anders, Jonas...

Mas os novos poderes dados à humanidade pela tecnociência provocam também com que sua atividade tenha um impacto imenso sobre a biosfera e os fluxos naturais do planeta. É neste cenário de uma “grande aceleração” do empreendimento humano, em que a face do planeta é cada vez mais modelada pelos homens, que emergem novos conhecimentos sobre a realidade que ela impacta: as ciências ambientais e as ciências da Terra.

São ciências novas, com dezenas de especialidades, que compartilham suas características metodológicas com as ciências naturais. As ciências planetárias são também “*big science*”, demandando complexos instrumentos de coleta e processamento de dados, grandes orçamentos e redes de trabalho mundiais (GALISON 1994). Para EDWARDS (2010), a climatologia se estabeleceu sobre “uma vasta maquinaria” longamente construída pela comunidade científica desde o século XIX, e tão abrangente que pode ser considerada uma precursora da Web.

Mas estas são ciências que, estudando as cicatrizes do “progresso” sobre a face da Terra, apontarão para a necessidade da humanidade respeitar os frágeis ciclos da natureza e as complexas dinâmicas dos ecossistemas, para a necessidade de limitarmos a utilização do poder de que dispomos. Apontarão não para o controle, mas para o auto-controle (ou sabedoria!) como ideal normativo do conhecimento científico; este deve fornecer à humanidade a orientação para que suas atividades não desequilibrem processos vitais do planeta, dando-lhe informações e parâmetros para que respeite as dinâmicas essenciais para a manutenção da vida e preserve sua integridade da Terra frente a ameaça constituída pela própria ação humana – sob o risco de vivermos em uma biosfera empobrecida e dilapidada, em um mundo desolado.

Estas ciências obedecem aos mesmos critérios epistemológicos das demais ciências naturais, permitindo sínteses importantes e possibilitando quantificação, modelagens e previsões. Porém, na medida em que aprofundam a compreensão de seus objetos de estudo, tem que se confrontar com as conseqüências danosas, para a vida e a biosfera planetária, da dinâmica hoje alicerçada na ciência fundida com a técnica e subordinada aos ditames do mercado. A sinergia que emerge entre estas novas ciências, quando passam a se ver como

estudos de subsistemas do Sistema Terra, reforça esta tendência, resultando em novos parâmetros epistemológicos e axiológicos que vem se irradiando para outras disciplinas científicas e áreas práticas de atuação.

A Grande Aceleração, a escalada da crise ambiental e a Ciência do Sistema Terra

A questão ambiental é o mais espinhoso problema da atualidade. Ganhos de eficiência ou produtividade na utilização dos recursos – isto é, as conquistas do desenvolvimento tecnológico – são rapidamente superados pelos números absolutos da lógica do crescimento da produção e do consumo. Pouco crescimento ou ausência dele significam, no atual sistema econômico, crise e convulsão social. Crescimento econômico significa crise ambiental. Na medida em que a economia se expande, vemos apenas o agravamento dos problemas ambientais e futuros desdobramentos em catástrofes ecológicas, climáticas e sociais.

Embora o problema básico tenha sido diagnosticado em 1972, com o relatório *Os limites do crescimento* (MEADOWS et al.1972), a economia mundial entrou, em 1974/5, em um período de menor expansão e as previsões do informe foram deixadas de lado. Quando surgiu uma primeira expressão aguda da crise ambiental global, com a formação do buraco na camada de ozônio na Antártida, ela foi confrontada pela adoção de medidas relativamente bem-sucedidas para combater a destruição do ozônio estratosférico pelo Protocolo de Montreal, de 1987 (BENEDICT 1999). Na, sua seqüência, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (a Rio-92) delineou o ambicioso objetivo de combater as mudanças climáticas de causas antropogênicas e a perda de biodiversidade, viabilizar o manejo sustentável das florestas e combater a desertificação (LE PRESTRE 2000). Mas esta pauta passou a enfrentar, ainda nos anos 1990, obstáculos cada vez maiores e encontra-se hoje globalmente bloqueada. Na raiz dos impasses estão as diferenças entre os atores do sistema internacional e as demandas de mudanças que a crise ambiental coloca para a organização sócio-econômica estabelecida.

Iniciativas na geração de energia, transporte, agricultura e uso do solo, gestão da água doce, mineração, etc., tornam-se cada vez mais determinantes para a dinâmica do planeta Terra. Tornamos-nos “senhores do clima” (FLANNERY 2007; GOULDIE 2006). Este impacto atingiu tal dimensão que a Comissão de Estratigrafia da Sociedade Geológica

de Londres propôs reconhecer que estamos em uma nova era geológica, deixando para trás o Holoceno, iniciado há 11.500 anos, para ingressarmos no Antropoceno (CRUTZEN 2002; STEFFEN 2007). Observam-se desequilíbrios crescentes em muitos fluxos vitais para a manutenção das condições mais favoráveis à humanidade no planeta (JORGENSEN e FATH 2010; ROCKSTRON et al. 2009). Estamos abandonando o período de estabilidade climática, favorável à agricultura e ao desenvolvimento da civilização, que conhecemos nos últimos dez mil anos e entrando em um período de deslocamentos e aquecimento acelerado do clima, que tende a ser catastrófico para boa parte da vida hoje existente. A responsabilidade pelo destino da Terra e da vida nela existentes repousa sobre a humanidade.

STEFFEN, CRUTZEN E MCNEILL (2007) refinaram o debate sobre o Antropoceno, caracterizando o período mais recente da sua trajetória como a “Grande Aceleração”:

“O empreendimento humano acelerou subitamente depois do final da Segunda Guerra Mundial. A população dobrou em apenas 50 anos, para mais de 6 bilhões no final do século XX, mas a economia global aumentou mais de 15 vezes. O consumo de petróleo cresceu por um fator de 3.5 desde 1960 e o número de veículos motorizados aumentou dramaticamente de cerca de 40 milhões no final da Guerra para quase 700 milhões em 1996... A pressão sobre o ambiente global deste florescente empreendimento humano está se intensificando de forma aguda... A Terra está em seu sexto grande evento de extinção, com taxas de perdas de espécies crescendo rapidamente nos ecossistemas terrestres e marinhos... A Terra está aquecendo rapidamente. Mais nitrogênio é agora convertido da atmosfera em formas reativas pela produção de fertilizantes e a queima de combustíveis fósseis do que por todos os processos naturais nos ecossistemas terrestres juntos. A notável explosão do empreendimento humano... e o impacto em escala global associado a isso... [no] funcionamento do Sistema Terra marca o segundo estágio do Antropoceno – a Grande Aceleração”.

As pesquisas do Centro de Resiliência de Estocolmo deram origem à idéia de fronteiras planetárias, limites quantificáveis dentro de cujos marcos a humanidade pode operar de forma segura na Terra. “Transgredir uma ou mais fronteiras planetárias pode ser deletério ou mesmo catastrófico devido ao risco de cruzar limites que desencadearão mudanças abruptas, não lineares em sistemas de escala continental ou planetária” (ROCKSTROM et al. 2009). Três fronteiras já foram, segundo estes pesquisadores, cruzadas: a mudança climática pelo aquecimento global devido às emissões de CO₂, a

perda de biodiversidade e o desequilíbrio do ciclo biogeoquímico do nitrogênio pela agricultura e pecuária industriais.

Na raiz de boa parte dos problemas ambientais, está o confronto entre o tempo dos processos naturais, físicos e biológicos, os ritmos de renovação da vida, e os tempo acelerado da economia capitalista e seus critérios reducionistas de valorização (TIEZZI 1988). Revela-se cada vez mais ingênua a idéia de que as necessidades crescentes de uma humanidade cada vez mais numerosa poderiam ser solucionadas por uma combinação de progresso técnico e expansão ilimitada da economia, ainda que sob a forma de “desenvolvimento sustentável” ou “crescimento verde” (AZZAM et al. 2012). Os critérios de rentabilidade mercantil tornam a capacidade de previsão e controle limitada e novas referências teóricas apontam para a existência de efeitos imprevisíveis, seja pelas consequências cumulativas de processos conhecidos, seja pela introdução de novas tecnologias (LATOUCHE 2009).

Mas outro modelo de desenvolvimento ecologicamente sustentável significa uma ruptura da lógica hoje dominante e o abandono de boa parte da infra-estrutura de geração de energia e de transportes existente, bem como outro modelo de agricultura. As resistências a crítica ecológica são, pois, muito fortes e profundamente enraizadas nas estruturas de poder existentes, buscando bloquear as iniciativas de mudança sócio-econômicas e, frequentemente, paralisar pesquisas da ciência do Sistema Terra (ZACCAI, 2012).

Assim, o corpo de conhecimentos que rapidamente se forma nas geociências e nas ciências da vida – na ciência do Sistema Terra – não pode se furtar a lançar advertências e prescrever mudanças que demandam a modificação de muitas práticas centrais da sociedade industrial globalizada e consumista.

Como afirma Sonia Barros de Oliveira, “os cientistas perceberam que a segmentação das ciências da Terra em campos limitados por fronteiras muito definidas prejudicava a compreensão dos fenômenos, particularmente os resultantes da interação entre os processos que ocorrem na superfície do planeta e no seu interior. Para dar conta dessas limitações, emergiu uma visão mais globalizante dos fenômenos, alicerçada na Teoria Geral dos Sistemas, que se consolidou com o nome de Ciência do Sistema Terra” (OLIVEIRA 2012: 99). Ciclos biogeoquímicos marcam as interações entre a litosfera

(núcleo, manto, crosta), hidrosfera, criosfera, atmosfera e biosfera, transferindo material e energia entre seus componentes através de processos complexos nas mais variadas escalas de tempo e espaço (COCKELL 2011; CONDIE 2011)

Steffen, Crutzen e McNeill definem o Sistema Terra como “a seqüência de ciclos físicos, químicos e biológicos interagindo em escala global e fluxos de energia que fornecem o sistema de suporte para a vida na superfície do planeta”. Para eles: “forçantes (*forcings*) e retro-alimentações (*feedbacks*) dentro do Sistema Terra são tão importantes quanto motores externos de mudanças, como o fluxo de energia do sol. Finalmente, o Sistema Terra inclui os humanos, nossas sociedades e nossas atividades (STEFFEN et al. 2007).

Este conceito preside hoje muitos programas de pesquisa, o mais abrangente dos quais é o International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), de 1987 e uma vasta dinâmica integra uma comunidade global de cientistas da área (RAUPACH 2012). No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) criou em 2008, o Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST).

O aspecto mais visível do impacto planetário da ação humana é a emissão de gases do efeito estufa e o decorrente aquecimento global – vinculado à queima de combustíveis fósseis para a geração de energia e para o transporte no mundo industrial (ARCHER e RAHMSTORF 2010; HANSEN 2009; HANSEN et al 2012; PITTOCK 2009; RICHTER 2010). Os estudos preliminares do Quinto Relatório do IPCC indicam que os piores cenários delineados nos estudos anteriores tem se confirmado e que as possibilidades de se evitar uma grande elevação na temperatura média global se tornam cada vez mais remotas.

Mas outros problemas ambientais decisivos vêm se agravando pelo impacto da agricultura, pecuária e pesca industriais: a perda acelerada de biodiversidade (BASKIN 1998; DUBOIS 2004; SACHS et al. 2009), a demanda crescente de água doce e o rápido esgotamento das suas fontes (MODEN 2007; SHIKLOMOV e RODDA 2003), a demanda de terras agriculturáveis e a derrubada das florestas remanescentes (FOLEY 2005), as modificações nos ciclos do nitrogênio e fósforo (WIDDISON e BURT 2010; LYU e CHEN 2010), a acidificação dos mares e seu impacto desastroso sobre a vida marinha (DONEY et al.2009; LOGAN 2010) que se soma à sobrepesca generalizada (BEAUCHER 2011), a desertificação de áreas cada vez mais vastas da superfície (REYNOLDS et al. 2007). E

temos ainda os complexos problemas, pouco conhecidos, da poluição química e da emissão de aerossóis atmosféricos (TSIGARIDIS et al. 2006).

Estas temáticas impulsionaram e foram visibilizadas pelos desenvolvimentos, em paralelo, tanto das ciências ambientais como das geociências. De sua lenta evolução como um ramo da biologia, a ecologia foi crescendo para se tornar o estudo abrangente das condições da vida em nosso planeta, nos diferentes nichos ecológicos e para as diferentes espécies (ACOT 1990; BOWLER 1998; DELÉAGE 1991; JORGENSEN e FATH 2010; ODUM e BARRETT 2011; ODUM 2012, REAL e BROWN 1991; TIEZZI 1988). As geociências foram nucleadas no século XIX pela geologia, mas passaram a assistir à integração de disciplinas antes separadas, como a meteorologia e a oceanografia, e a formação, nas últimas décadas, de uma série de disciplinas responsáveis por uma verdadeira explosão de novos conhecimentos (ALLABY 2008; BOWLER 1998; GAUTIER 2010; TARBUCK e LUTGENS 2009). Ao mesmo tempo, com a constatação de que há um “controle biológico do ambiente geoquímico” (ODUM e BARRETT 2011: 42) e, portanto, que a biosfera também modela a face do planeta (JORGENSEN e FATH 2010), a ecologia se torna central nas ciências da Terra, que tem que abarcar tanto o estudo das dimensões geoquímico-físicas como biológicas do planeta.

Da geologia às geociências

Diferentes saberes ancestrais sobre relevos, rochas, ciclos naturais, clima, mares, plantas e animais foram sistematizados por pensadores gregos, romanos e árabes e chegam a nós na forma da história natural. É uma parte dela que se transforma, a partir do século XVIII, na disciplina da geologia. Por um século acumulam-se observações e teorias com as obras de Werner, Hutton e Lyell, com suas polêmicas entre o catastrofismo, de um lado, e o metamorfismo e o uniformismo. Estabelecem-se redes de observatórios meteorológicos e expedições como a do *Challenger*, entre 1872 e 1876, exploram os oceanos do planeta. A geologia – em conjunto com a oceanografia e a meteorologia – avança na descrição física da Terra e firma-se como disciplina acadêmica, obedecendo a dinâmica de especialização e fragmentação das ciências (BOWLER 1998; GAUTIER, 2010; GOHAU 1987).

Foi somente na seqüência da descoberta da radioatividade por Becquerel em 1896 e sua pesquisa por Rutherford, que a moderna geofísica firma os fundamentos para uma

compreensão do núcleo do planeta e da dinâmica do “sistema” Terra. Os estudos sobre a história da Terra aponta uma idade de vários bilhões de anos (até atingir 4,56 bilhões de anos nas pesquisas atuais). É neste contexto que a obra de Alfred Wegener e sua teoria da deriva continental polariza os debates a partir de 1915. Mas a demonstração da tectônica de placas exigia o desenvolvimento de novos conhecimentos (como o paleomagnetismo) e pesquisas na oceanografia, que mostrassem a expansão dos fundos marítimos. Na década de 1960, Hess, Wilson, Morgan, McKenzie e Pichon estabeleceram a grande síntese (GLEN 1982; ORESKES 1999; ORESKES e LE GRAND 2003). Em dez anos, “constituiu-se a teoria da tectônica de placas, que esclarece com um conceito unificador uma enorme quantidade de observações sem relação aparente. Finalmente, os geólogos e os geofísicos podem traçar, nas suas grande linhas, a evolução da Terra” (GAUTIER 2010: 82).

Esta Terra tectônica tem sua superfície modelada pela hidrosfera, atmosfera e biosfera. Transforma-se, a partir da década de 1960, em um sistema complexo e integrado como a compreendemos hoje – na contramão das especializações das disciplinas. O uso dos computadores permite a manipulação de grandes quantidades de informações e viabiliza a operacionalização dos primeiros modelos climáticos. Satélites colocam instrumentos sofisticados em órbita e ampliam enormemente a coleta de dados sobre os processos geofísicoquímicos. A trajetória da Terra é inserida na história dinâmica do nosso sistema estelar (CONDIE 2011). A Terra passa a ser vista como um corpo celeste que conhece oscilações de longo prazo em seu movimento ao redor do Sol, que explicam as eras glaciais.

O estudo dos ciclos biogeoquímicos fundamentais para a vida – a água, o carbono, o nitrogênio, o fósforo, o cálcio, o ferro, o oxigênio, o enxofre – permitiu o conhecimento da dinâmica do ambiente global e ajudou a definir fronteiras (*boundaries*) planetárias que tem que ser respeitadas para que preservemos as condições climáticas do Holoceno, que viabilizaram a agricultura, o sedentarismo e a civilização (ROCKSTROM, 2009).

Elementos para o entendimento das mudanças climáticas começaram a ser debatidos no século XIX (Fourier, Tyndall, Arrhenius), quando se descobriu que o dióxido de carbono criava um efeito estufa na atmosfera. O tema voltou a ser tratado por Callendar, Plass, Revelle e Suess, mas foi só a partir de 1958 que Charles Keeling passou a monitorar os níveis de CO₂ na atmosfera, detectando o seu sistemático aumento anual.

A climatologia foi gestada, na década de 1960, pelos estudos convergentes da nascente ciência planetária ligada aos programas espaciais, da análise dos dados obtidos com o auxílio de satélites, dos avanços na computação e na compreensão teórica e lógica dos sistemas complexos que sustentam os primeiros modelos climáticos, do estabelecimento do Programa Internacional de Pesquisa da Atmosfera Global, dos estudos sobre o efeito de *feedback* do albedo das calotas de gelo e das análises do paleoclima através dos estudos de anéis de árvores de vida longa e de núcleos de gelo extraídos de grandes profundidades.

Entre 1976 e 1979 uma série de estudos consolidam o entendimento de que o aquecimento global é o grande risco colocado para a Terra (PETERSON, CONNELLEY e FLECK 2008). O primeiro Congresso Climático Mundial é realizado em Genebra, em 1979, e leva à formação do Programa Climático Mundial. Um estudo da Academia Nacional de Ciências dos EUA, daquele ano, afirma que dobrando as emissões de CO₂, a temperatura global aumentaria entre 1.5 to 4.5°C. E se consolida a compreensão do balanço energético do planeta frente a radiação solar que, associada ao entendimento da química da atmosfera e aos dados da paleoclimatologia, permitia apreender o impacto da civilização sobre a atmosfera, os oceanos e o clima do Sistema Terra (HANSEN 2009).

Estas pesquisas repercutem institucionalmente quando a ONU estabelece, em 1988, o IPCC; seu primeiro relatório afirma que os gases do efeito estufa estavam aumentando e provocariam um aquecimento global. Na Rio-92 foi criada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática, que formalizaria, em 1997, o Protocolo de Kyoto – visando reduzir as emissões dos países industrializados. Em 2001 o terceiro relatório do IPCC declarava que o aquecimento global por causas antropogênicas é incontroverso.

Mas, neste ano, os Estados Unidos, então o maior emissor de CO₂, abandona o Protocolo de Kyoto e passa a questionar o consenso científico sobre o tema, chegando inclusive a censurar o trabalho de climatologistas (BOWEN 2007). Petroleiras organizam um forte *lobby* para deslegitimar as pesquisas sobre a relação entre os gases do efeito estufa e o aquecimento global e passam a promover e divulgar na mídia estudos dos “céticos do clima”, adiando a implantação de políticas de cortes de emissões de carbono – uma iniciativa que recorda a reação da indústria do cigarro frente as acusações de que fumar provoca câncer de pulmão (ORESQUES e CONWAY 2010). Mas os últimos quinze anos

foram o período mais quente que a humanidade viveu; quanto mais se adia a redução das emissões, mais intensa deverá ser a sua redução posterior.

Apesar dos alertas convergentes de cientistas da importância do aumento de temperatura não ultrapassar os 2°C, apoiados em evidências cada vez mais sólidas, o *establishment* econômico e político resiste a empreender mudanças rumo a uma economia de baixo carbono (HULME 2009; PEARCE 2010). Como afirma o relatório da empresa de consultoria PRICEWATERHOUSECOOPERS (2012), que não utiliza uma linguagem diplomática, “agora uma coisa é clara: negócios, governos e comunidades pelo mundo necessitam planos para um mundo mais quente – não apenas 2°, mas 4° ou mesmo 6°”. E um relatório produzido para o Banco Mundial é emblematicamente intitulado “Desliguem o aquecedor: por que um mundo 4° mais quente deve ser evitado” (POTSDAM 2012).

E outras dinâmicas essenciais do Sistema Terra estão em processo de ruptura, como as dos ciclos da água e do nitrogênio, ou mesmo em colapso, como no caso da perda de biodiversidade, ainda mais grave que o caso do aquecimento global. Confronta-las exige mudanças profundas na agricultura industrial e nos sistemas de energia e transportes, mas esta percepção é ainda mais limitada na opinião pública e entre as lideranças políticas que no caso do clima. O *ethos* científico-comercial vigente resiste a assumir as consequências dos estudos da ciência do Sistema Terra que introduzem cenários cada vez mais dramáticos para a relação da humanidade com seu meio-ambiente nas décadas vindouras.

Da ecologia às ciências ambientais

Da história natural nasce também, no século XVIII, a história dos seres vivos que procura explicar a formação das espécies. A revolução conceitual da evolução por seleção natural estabelece as bases para o entendimento da vida, sua história, formas e dinâmica (BLANC 1994). É a partir da obra de Darwin que surge na biologia uma disciplina cujo propósito é a análise das relações dos seres vivos com seu meio ambiente (o termo ecologia foi cunhado por Haeckel, em 1868). Na virada para o século XX, inúmeros botânicos e zoólogos avançam para além das ecologias vegetal e animal e formularam idéias como a biocenose, as comunidades bióticas como sistemas estruturados, as sucessões bióticas, os nichos ecológicos, as cadeias alimentares e estudam a dinâmica das populações, até que TANSLEY (1935) e LINDEMAN (1942) desenvolvem o conceito de ecossistema –

integrando os seres vivos e o ambiente externo. E avançam na União Soviética as investigações dos processos biológicos em termos de fluxos físicos (matéria e energia) e florescem as pesquisas de VERNARDISKY (2002) – formulador do conceito de biosfera, em 1926.

As bases teóricas da ecologia ganham sinergia com o estudo da termodinâmica da vida (MURPHY e O'NEILL 2007) e da cibernética. “O conjunto dos mecanismos de equilíbrio que aparecem no seio de um ecossistema pode ser descrito... em termos de mecanismos de retroação (*feedback*), conceito central da cibernética” (ACOT 1990: 100). Eugene e Howard Odum utilizam, na seqüência, a linguagem da termodinâmica para descrever as características dos ecossistemas e os fundamentos da ecologia (ODUM e BARRETT 2007).

Cresce também a compreensão de que as práticas ecológicas e agrícolas devem estar ligadas. A partir dos anos 1950, as transformações da agricultura colocam os problemas para uma ecologia agrícola (o estudo dos agroecossistemas), com o uso dos pesticidas e de controles biológicos. Crescem os estudos sobre o impacto de espécies invasoras, manutenção e restauração de serviços ecossistêmicos, preocupações com a homogeneização da biota, valorização da biodiversidade para a manutenção das práticas agrícolas tradicionais, etc.

A ecologia como disciplina científica é alimentada, a partir dos anos 1960, pelo seu grande *boom* como movimento não só conservacionista, mas socio-ambiental. A *Primavera silenciosa* (CARSON 1962), com sua denúncia das conseqüências do uso dos pesticidas, pode ser considerada o ponto de partida para uma ampla sensibilização para as questões ambientais e para o surgimento de um vasto movimento social (Sierra Club, Friends of Earth, Greenpeace e milhares de outras organizações). Obras como a de EHRLICH (1968) lançam o debate ecológico para fora dos círculos especializados, ganhando projeção institucional com a Conferência de Estocolmo, em 1972. O questionamento da idéia de desenvolvimento como crescimento é aprofundado mesmo no âmbito da economia (SEN 1999).

Entretanto, a ecologia cresce como disciplina científica. Pesquisas e debates na área da ecologia global avançam, não apenas no estudo dos ciclos biogeoquímicos globais, seus equilíbrios e fluxos, mas também com novas hipóteses abrangentes. LOVELOCK e

MARGULIS (1973) vão formular a hipótese Gaia, pela qual os organismos e o ambiente físico evoluíram juntos em um sistema auto-regulável que mantém as condições favoráveis a vida no planeta (também LOVELOCK 1991 e 2006). Fortalece-se, dentro deste enfoque holista, a compreensão de que há um controle biológico sobre o ambiente geofísico. E a idéia de pegada ecológica (WACKERNAGEL e REES 1996) tornou possível quantificar o impacto da humanidade, de cada país, cidade ou mesmo grupo social sobre a biosfera e o equilíbrio dos ciclos biofísicoquímicos planetários.

A importância da ecologia como ciência está ligada ao crescimento dos problemas ambientais e a urgência de enfrentá-los: multiplicam-se catástrofes ecológicas – dos naufrágios de petroleiros ao gigantesco envenenamento de Bhopal, da rápida destruição de incontáveis ecossistemas às extinções de espécies; a sobrepesca e a poluição dos mares; a poluição urbana e industrial; a escassez de água potável para parte crescente da população; fenômenos climáticos extremos; a expansão da agricultura e da pecuária, que destroem as últimas florestas tropicais preservadas e a biodiversidade que elas mantêm.

Em torno destes e de outros temas, dão-se confrontos sociais. As repercussões da apropriação pela humanidade de uma parcela tão grande dos recursos da biosfera (VITOUSEK et al.1997) amplia a crítica do consumismo como modo de vida da sociedade industrial. O conservacionismo ganha a adesão de parcelas das populações urbanas, que também aderem a movimentos como o decrescimento (LATOUCHE 2009). Lutas das populações tradicionais para preservar seus territórios da exploração mineral ou agropecuária ganham uma conotação ambientalista. Movimentos camponeses que se opõem ao agronegócio buscam legitimar sua luta afirmando que contribuem para combater o aquecimento global. A ecologia como ciência e a ecologia como movimento político alimentam-se mutuamente, multiplicando também seu diálogo com as demais ciências sociais.

Uma disputa triangular: a defesa da ciência, mas de qual ciência?

Cientistas de várias disciplinas se confrontam com o impacto humano sobre os processos naturais que eles estudam e cuja manutenção percebem serem essenciais para garantir as condições adequadas à vida e à civilização – processos cujas modificações e os riscos que acarretam eles evidenciam para a sociedade (HANSEN 2009; SCHENEIDER

2009). Parte significativa destes cientistas retira das conclusões de seus estudos a necessidade de defenderem o rápido abandono do uso dos combustíveis fósseis e o combate ao consumismo e se deslocam para o amplo e crescente campo sócio-político ecologista – distinto da ecologia como disciplina científica (BOWLER 1998).

Este não é, todavia, o único caminho possível para os pesquisadores do Sistema Terra. Estão emergindo – representando uma parcela ainda marginal destas disciplinas, mas coerentes com a vocação faustica da ciência moderna e ecoando interesses econômicos e políticos poderosos – formulações de ambiciosos projetos de geoengenharia. Seu argumento básico é que, frente à inércia dos políticos, o uso de tecnologias de engenharia planetária poderia mitigar os impactos em escala global da atividade humana e manter o aumento de temperatura abaixo dos 2° C, oferecendo o tempo necessário para que a transição para uma economia de baixo carbono ocorra (CRUTZEN 2006).

Assim, as opções para a humanidade seriam: 1) manter o curso atual, aprofundar os desequilíbrios já existentes e introduzir novos, até o ponto de uma ruptura catastrófica do atual ponto de equilíbrio do Sistema Terra, o que poderia conduzir ao colapso da moderna sociedade globalizada; 2) mitigar o impacto das atividades humanas sobre o ambiente global, procurando mantê-lo dentro das condições do Holoceno, o que envolveria não somente modificações tecnológicas para se obter maior eficácia energética e biológica (no caso da agricultura) e menos impacto ambiental, mas também uma alteração substancial no sistema econômico e nos valores societários e individuais; e 3) recorrer à geoengenharia – tanto complementar ao segundo caminho (tecnologias de seqüestro de carbono na extração de petróleo), quanto como parte estruturante do primeiro caminho (uso de aerossóis de SO₂ para resfriar a temperatura do planeta, com riscos imprevisíveis para o Sistema Terra).

Mas a maioria dos cientistas do Sistema Terra estão empreendendo uma ruptura com a tentação faustica da tecnociência moderna, o que representa uma inserção social e política inédita para parte da comunidade científica e a ciência por ela praticada. Passam a sofrer não apenas restrições de acesso a verbas para continuarem suas pesquisas, sob governos comprometidos com o fossilismo, mas chegam mesmo a receber ordens de manterem silêncio sobre suas descobertas. E isso para os mais conhecidos climatologistas, como é o caso de James Hansen, diretor do Centro Goddard para Estudos Espaciais da NASA sob o governo Bush (BOWEN 2007; HANSEN 2009).

Esta inserção traz profundas conseqüências para o papel que a ciência do Sistema Terra tende a desempenhar e pela rota de colisão que estabelece com a economia fossilista e consumista que domina a sociedade. Talvez a analogia mais pertinente, em termos de conflito com o *establishment*, mas ainda assim muito distante, seja a dos confrontos que marcaram o nascimento da ciência experimental e seu choque com as Igrejas no século XVII (MARICONDA e LACEY 2001). Podemos ainda pensar nas vias distintas que marcaram a trajetória da genética ocidental e aquela submissa ao poder político estabelecido sob o nazismo e o estalismo.

O controle de objetos naturais esta presente em todas as formas de cultura. O mito de Prometeu expressa essa dimensão de liberdade que a técnica oferece ao homem. Mas a prática do controle da natureza sofre uma mutação na modernidade (Bacon pode ser interpretado como uma figura de transição), ampliando-se exponencialmente com a ciência e sua “realização” como tecnologia – em especial graças às estratégias de pesquisa que LACEY (2008) chama de descontextualizadas, adotadas por seu valor instrumental. Este controle ou domínio contrasta com outras formas de relação com a natureza que priorizam a reciprocidade, a mutualidade e o respeito.

Este propósito constitutivo da ciência moderna terminou modelando a sociedade do século XX, na forma de tecnologização da ciência (OLIVEIRA 2008), de constituição da tecnociência, cujo modelo emblemático é o Projeto Manhattan. Hoje ele permeia toda a economia industrial e da informação – das indústrias de base à microeletrônica, da agricultura industrial à geração de energia e sistemas de transportes.

Durante grande parte do século XX, a física foi sendo reafirmada como ciência paradigmática e tornou-se responsável não só pela revolução da eletrônica, mas também pela humanidade viver por muitas décadas sob a sombra do holocausto nuclear. A aspiração baconiana é reafirmada também quando olhamos para as ciências da vida, cujo desenvolvimento recente foi conduzido pelas demandas das biotecnologias e da medicina e que, graças aos avanços da informática, gerou a engenharia genética – disciplinas que canalizaram boa parte dos investimentos de pesquisas no último período (GARCIA, 2006 e LACEY 2006) –, além de levar as implicações éticas da manipulação da vida a novos patamares (MARICONDA e RAMOS 2003).

A dinâmica de tecnologização da ciência convergiu com a da mercantilização da

pesquisa e da ciência na atualidade, isto é, fundiu-se com o *ethos* científico-comercial (LACEY 2008). Passa a ser central na definição das estratégias de pesquisa as demandas de rentabilidade dos investimentos privados (OLIVEIRA 2008; LANGLEY e PARKINSON 2009). A aceleração das descobertas científicas e das inovações tecnológicas abre novas fronteiras de acumulação para o capital que passam ao largo de imperativos éticos – cristalina no desenvolvimento de sementes transgênicas pelas grandes corporações agro-industriais (LACEY 2006) ou na definição dos procedimentos e das prioridades da indústria farmacêutica (ANGELL 2007). E o mesmo se dá, na ciência do Sistema Terra, com as discussões sobre geoenharia, que se inserem em uma tendência forte no pensamento e da política contemporâneas (podem se tornar fonte de novos lucros corporativos) e que tendem a crescer com o agravamento da crise ambiental e a inação dos poderes estabelecidos.

Este processo mina a autonomia da ciência, como podemos ver em muitas áreas, mas em especial na ciência do Sistema Terra (MARKOWITZ e ROSNER, 2002; KRIMSKY 2003; MCGARITY e WAGNER 2008; MICHAELS 2008; ORESKES 2007; ORESKES e CONWAY 2010). Frente à censura da ciência (BOWEN 2007) e aos esforços por parte de poderosos interesses corporativos e governamentais de bloquearem pesquisas que confrontam interesses privados, a reivindicação da autonomia da ciência é essencial (ZACCAI et al 2012). Ela pode significar a liberdade para aprofundar a fusão entre capitalismo e tecnociência, mas pode ser também a reivindicação da possibilidade de se produzir um conhecimento que vá no sentido oposto, de transição para um auto-controle consciente da sociedade de seu metabolismo com o meio-ambiente, com um profundo impacto sobre a forma como a economia e o poder se organizam hoje (OLIVEIRA 2008).

Mas esta é uma disputa triangular. O fundamentalismo religioso ganhou, em especial nos Estados Unidos, um novo dinamismo e alguns céticos do clima não são adeptos da tecnociência, mas crentes que não acreditam que a humanidade pode afetar a obra de Deus. Como na discussão sobre o criacionismo, temos uma disputa contra o obscurantismo e o irracionalismo – em defesa da ciência e da informação que ela pode nos fornecer sobre a natureza e a ação humana nela. Frente a isso, não se trata de fetichizar “a” ciência, mas nas palavras de Guillaume LECOINTRE (2012), “re-explicitar o contrato metodológico dos cientistas”, um contrato tácito de defesa da ciência como um método de

investigação – que se distingue da ciência considerada como um conjunto de conhecimentos herdados, como comunidade profissional ou como suas aplicações tecnocientíficas. A defesa da ciência contra o obscurantismo não deixa, assim, de ser necessária – porém da ciência como patrimônio compartilhado da humanidade e não da ciência no interesse privado (LACEY 2008).

Nesse sentido, ganha muita relevância o debate sobre as dimensões epistemológicas de uma atividade científica que, lutando para manter os ideais normativos da autonomia, objetividade e neutralidade reivindicadas historicamente pelas ciências naturais, rapidamente se vê obrigada a prescrever enormes modificações sócio-econômicas e tem sua autonomia contestada pelo poder ligado ao *ethos* científico-comercial. A ciência do Sistema Terra pode, assim, se colocar em um lugar muito diferente daquele que foi ocupado pelas disciplinas que estruturaram a tecnociência e fornecer um novo paradigma para se conceber a atividade científica na sua relação entre conhecimento e atuação social e política, entre controle da natureza e o necessário auto-controle pela humanidade de seu impacto sobre a biosfera do planeta.

Fausto ou Gaia: dominação da natureza ou sabedoria na relação com a Terra?

A ciência moderna, experimental e quantitativa, tornou-se um empreendimento extremamente bem sucedido, impondo-se como a visão de mundo moderna. Desvendando os segredos da natureza – um livro escrito em linguagem matemática, diria Galileu –, ela forneceu à humanidade a chave para a compreensão da natureza que seria passível não só de previsão, mas também de manipulação e controle (OLIVEIRA 2002). Como afirmava BACON (1973), “conhecimento e poder são para o homem uma única coisa”. Esta ciência nascida da crise pirrônica dos séculos XVI e XVII, em uma Europa dilacerada pela disputa entre crenças religiosas e ansiando por certezas, parecia oferecer garantias de neutralidade axiológica, buscando separar rigorosamente fatos de valores (MARICONDA 2006).

A formação da ciência deu-se no marco de uma cosmologia em que o homem não vivia mais no interior de um “mundo fechado”, mas sim de um “universo infinito” (KOYRÉ 1979). Ela forneceu os alicerces epistemológicos para o Iluminismo, com sua valorização da razão e da universalidade, e para a Revolução Industrial, que se deu no interior do universo cognitivo criado ou consolidado pela ciência no século XVII:

mecânico, atomista, determinista, valorizando as práticas experimentais. Neste mundo, a ciência reduzia o papel do acaso na existência, dissolvia o cosmos – como totalidade portadora de sentido para todas as coisas, agora substituído pelo universo imanente da *res extensa*, da necessidade bruta, do conhecimento em que valores são rigorosamente separados dos fatos (a exceção do valor do controle do mundo físico como móvel do conhecimento) – e surgia como garantia de verdades demonstráveis, estabelecendo sua supremacia sobre conhecimentos baseados na fé ou na argumentação descolada da experimentação controlada. Esta ciência baseada em evidências empíricas empoderaria a sociedade moderna frente à natureza.

Este salto cognitivo da humanidade tem que ser defendido e esta defesa se identifica, em boa medida, com a defesa da ciência. Mas, ao desencantar a natureza e transformá-la em substrato inerte da ação humana, a ciência clássica privou a humanidade de uma compreensão mais profunda da complexidade do Sistema Terra e da profunda dependência que a humanidade mantém em relação a ele.

A autoridade da ciência fundamenta-se em sua pretensão – em parte bem sucedida – de objetividade, neutralidade e autonomia perante os sistemas de crenças e as instituições que os representam, em especial as religiões. Ciência livre de valores quer dizer ciência fora dos valores sociais e colocada como um valor universal (OLIVEIRA 2008).

Mas não livre de aspectos normativos. LACEY (1998) vai, salvaguardando a objetividade da ciência frente aos relativismos, elaborar uma lista de *valores cognitivos* abrangentes (desdobrados em inúmeros outros), utilizados na definição de teorias: adequação empírica, consistência, simplicidade, fecundidade (fertilidade), poder explicativo e verdade ou certeza; ele as distingue das “virtudes científicas” que fundamentam uma autonomia da ciência, como objetividade, distanciamento, honestidade, integridade, razoabilidade, submissão à evidência. PUTNAM (2008) retoma a tradição pragmática para lembrar que toda a experiência é permeada de valor e normatividade; a ciência é carregada de *valores epistêmicos*: coerência, plausibilidade, razoabilidade, simplicidade, naturalidade, beleza de uma hipótese, sucesso preditivo passado, etc.

Mas os valores cognitivos que garantem a objetividade da ciência são distintos dos valores sociais que orientam a escolha das linhas e temas de pesquisa. No mais das vezes prevalecem estratégias descontextualizadas, escolhidas por sua rentabilidade para os

negócios. Não podemos, pois, nos furtar de perguntar que valores almejamos para a atividade científica, para além das “valores cognitivos”. Serão aqueles que colocam a ciência como parte da tecnociência, orientada pelo *ethos* científico-comercial, e que minam cada vez mais sua autonomia e objetividade (KRIMSKY 2003)? Ou conduzida, como coloca LACEY (2008: 297), de maneira “a assegurar que a natureza seja respeitada – que suas potencialidades regenerativas não seja ulteriormente solapadas, e que sejam restabelecidas onde quer que seja possível – e que o bem-estar de todos, em todos os lugares, possa ampliar-se?”

É possível para a humanidade progredir, no sentido forte que esta palavra carrega, frente aos desafios do século XXI, em especial frente aos limites colocados pelas fronteiras planetárias (ROCKSTRON 2009), com base em uma ciência sem consciência? Esta não é uma questão apenas ética, mas social (SHINN e RAGOUET 2008), política (OLIVEIRA 2011) e epistemológica, que define o modo como a ciência efetivamente opera no mundo. A humanidade pode aprofundar vocação faustica da tecnociência ou trabalhar para restringir o impacto da ação humana sobre a Terra. Como afirma Hugh Lacey:

“O conhecimento e entendimento científicos (de alguns fenômenos) podem ser articulados pelo uso de categorias intencionais e de valor que são comumente utilizadas no mundo dos valores e da experiência humana; e isso torna possível lançar a luz necessária sobre o caráter, implicações e valor das atividades científicas. Quando tais atividades são apropriadamente localizadas no mundo dos valores e da experiência humana, elas se tornam racionalmente inteligíveis; e uma consciência clara pode ser obtida das sérias inadequações surgidas quando as metodologias descontextualizadas são privilegiadas a um ponto de excluir efetivamente as outras, tal como tende a ocorrer nas práticas científicas dominantes contemporâneas. Atualmente, essas inadequações levaram a ciência a um ponto de crise. À ciência unida às metodologias descontextualizadas faltam as categorias necessárias para entender sua própria racionalidade e os limites tanto de sua aplicabilidade quanto aqueles necessários para articular o seu caráter moral” (LACEY 2009: 699)

Será que a lógica da pesquisa científica, nas suas culturas teóricas, seus resultados e nos sistemas técnicos decorrentes é a mesma se o objetivo é o controle de processos naturais, medido em termos de menor dispêndio de energia, tempo e custo e o maior lucro monetário para os seus financiadores, considerando que os recursos naturais são, para fins práticos, inesgotáveis e a biosfera não é ameaçada pela atividade humana? Ou se o objetivo

é a geração de energia e a organização de sistemas de transportes sem emissão de carbono e a preservação da biodiversidade do planeta, promovendo a equidade social e tendo o mínimo impacto sobre a biosfera que a humanidade está desestabilizando de maneira temerária?

Se a resposta envolve uma dimensão epistemológica e axiológica, estamos perante a necessidade de confrontar os fundamentos do paradigma hegemônico em que as estratégias de pesquisa que adotam metodologias descontextualizadas são conduzidas pelo *ethos* científico-comercial e voltadas para o controle e a aplicação técnica (lucrativa). Ela envolve a afirmação de um pluralismo não só metodológico mas também axiológico, bem como a efetiva incorporação, pela ciência, do princípio da precaução. E isso deve emergir, antes de tudo, do trabalho concreto operado pelas disciplinas científicas que têm se confrontado com as conseqüências, para o Sistema Terra e para a humanidade, da Grande Aceleração.

Objetivos

A pesquisa que propomos desenvolver tem como objetivo central mapear as implicações epistemológicas e axiológicas da ciência do Sistema Terra frente ao modelo hegemônico oferecido pela tecnociência.

Entre os objetivos específicos que já se sobressaem estão:

- 1) formular, no âmbito da história e da filosofia da ciência, uma síntese do desenvolvimento recente da ciência do Sistema Terra, com ênfase na maneira como ela incorpora disciplinas de origem variada em um campo teórico integrado;
- 2) explorar as estratégias de pesquisa que emergem neste campo científico e verificar em que medida elas oferecem alternativas às estratégias descontextualizadas (e descontextualizantes) da tecnociência, contribuindo para a afirmação do pluralismo metodológico; explorar, neste âmbito, a maneira como operam, na ciência do Sistema Terra, os valores cognitivos e sociais;
- 3) verificar se pressões políticas e econômicas tem solapado a autonomia das pesquisas no terreno da ciência do Sistema Terra; caso a resposta seja positiva, verificar em que medida isso se dá;
- 4) avaliar como a noção de controvérsia científica opera neste campo (no debate, por exemplo, entre os defensores do aquecimento global e os chamados céticos do clima) e

como atores externos à comunidade científica (como a mídia) são relevantes (ou não) para estabelecer controvérsias mesmo quando há consensos estabelecidos no seu interior; verificar as similitudes e as diferenças com debates travados em outros campos;

5) recuperar os eixos centrais do dialogo metodológico que a ciência do Sistema Terra estabelece com as ciências sociais contemporâneas.

6) acompanhar as discussões e atividades no marco do projeto temático “Gênese e significado da tecnociência: das relações entre ciência, tecnologia e sociedade”.

Entre os produtos propostos como resultados da pesquisa estão a produção de pelo menos um artigo semestral sobre os objetivos já definidos e de um livro ao final de dois anos de trabalho.

Cronograma

Segundo semestre de 2013: participação nas atividades do projeto temático, pesquisa bibliográfica e redação de um primeiro artigo para publicação no âmbito do primeiro objetivo específico.

Primeiro semestre de 2014: participação nas atividades do projeto temático, pesquisa bibliográfica, redação de um segundo artigo para publicação no âmbito do segundo e terceiro objetivos específicos e apresentação à coordenação do projeto temático de uma síntese preliminar dos resultados da pesquisa até esse momento.

Segundo semestre de 2014: participação nas atividades do projeto temático, pesquisa bibliográfica e redação de um terceiro artigo para publicação no âmbito do quarto objetivo específico.

Primeiro semestre de 2015: participação nas atividades do projeto temático e redação dos resultados da pesquisa na forma de livro.

Referências

- ACOT, Pascal (1990). *Historia da ecologia*. Rio de Janeiro: Campus.
- ALLABY, Michael (ed.) (2008). *A Dictionary of Earth Sciences*. 3 ed. Oxford: Oxford University Press.
- ANGELL, Marcia (2007). *A verdade sobre os laboratórios farmacêuticos*. Rio de Janeiro: Record.
- ARCHER, David and RAHMSTORF, Stefan (2010). *The Climate Crisis*. Cambridge: Cambridge

University Press.

- AZZAM, Geneviève, BONNEUIL, Christophe e COMBES, Máxime (2012). *La nature n'a pas de prix*. Paris: Les Liens qui Libèrent.
- BACON, Francis (1973). *Novum organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza*. São Paulo: Abril Cultural. P.7-237 (Coleção Os Pensadores).
- BASKIN, Yvonne (1998). *The Work of Nature: How the Diversity of Life Sustains Us*. Washington (DC): Island Press.
- BEAUCHER, Stéphan (2011). *Plus un poisson d'ici 30 ans? Surpêche et desertification des oceans*. Paris: Les Petits Matins.
- BENEDICT, Richard Elliot (1998). *Ozone diplomacy*. World Wildlife Fund (U.S.), Georgetown University. Institute for the Study of Diplomacy.
- BLANC, Marcel (1994). *Os herdeiros de Darwin*. São Paulo: Scritta.
- BOURG, Dominique e SCHLEGEL, Jean-Louis (2004). *Anteciparse a los riesgos. El principio de precaución*. Barcelona: Ariel.
- BOWEN, Mark (2007). *Censoring Science: Inside the Political Attack on Dr. James Hansen and the Truth of Global Warming*.
- BOWLER, Peter (1998). *Historia Fontana de las ciencias ambientales*. México (DF), Fondo de Cultura Económica.
- CARSON, Raquel (2010). *Primavera silenciosa*. São Paulo: Gaia.
- COCKELL, Charles, org. (2011). *Sistema Terra-Vida: uma introdução*. São Paulo: Oficina de Textos.
- CONDIE, Kent (2011). *Earth as an Evolving Planetary System*. 2 ed. Oxford: Academic Pres.
- CRUTZEN, P. e STOERMER, E.F. (2000). The Anthropocene. *Global Change Newsletter*, 41: 17.
- CLUTZEN, P. (2002). Geology of mankind: the Anthropocene. *Nature* 415: 23.
- _____. (2006).
- DELÉAGE, Jean-Paul (1991). *Une histoire de l'écologie*. Paris: Seuil.
- DONEY, Scott et al.(2009). Ocean Acidification: The Other CO2 Problem. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 2009. 1:169–92 [doi: 10.1146/annurev.marine.010908.163834](https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163834)
- DUBOIS, Philippe. (2004) *Vers l'ultime extinction? La biodiversité en danger*. Paris: Éditions de la Martinière.
- EDWARD, Paul (2010). *A vast machine: computer models, climate date, and the politics of global*

- warming. Cambridge (MA); London: The MIT Press.
- EHRlich, Paul (1968) *The population bomb*. New York: Ballantine Books.
- FLANNERY, Tim (2007), *Os senhores do clima*. Rio de Janeiro: Record.
- GALISON, Peter and HEVLY, Bruce. *Big Science: the Growth of Large-Scale Research*. Palo Alto: Stanford University Press.
- GARCIA, JOSÉ LUÍS. Tecnologia, mercado e bem-estar humano: para um questionamento do discurso da inovação. *Alicerces: Revista de Investigação, Ciência e Tecnologia, e Artes*, ano III, nº 3, p. 19-31, 2010.
- GAUTIER, Yves (2010), As Ciências da Terra. In Cotardière, Philippe de La (dir), *História das Ciências da antiguidade aos nossos dias*, p. 11-94. Lisboa: Edições Texto&Grafia.
- GLEN, William (1982) *The road to Jaramillo: Critical years on the revolution in earth sciences*. Stanford, California; Stanford University Press.
- GOHAU, Gabriel. *Une histoire de la géologie*. Paris : La Découverte.
- GOULDIE, Andrew (2006) *The Human Impact on the Natural Environment: Past Present, and Future*. 6 ed. Malden and Oxford: Blackwell.
- GRISON, Denis (2012). *Qu'est-ce que le principe de précaution?* Paris: J.Vrin.
- HANSEN, James (2009), *Storms of my grandchildren*. London: Bloomsbury.
- HANSEN, J. et al. (2012) *Scientific Case for Avoiding Dangerous Climate Change to Protect Young People and Nature*. (Cornell University Library, Ithaca, NY). Disponível em [arXiv:1110.1365v3](https://arxiv.org/abs/1110.1365v3) [physics.ao-ph].
- HULME, Mike (2009) *Why We Disagree About Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- JONAS, Hans (2006). *O princípio responsabilidade. Ensaio de uma ética para a civilização tecnológica*. Rio de Janeiro: Contraponto; Editora da PUC Rio.
- _____ (1997). *Técnica, medicina y ética. Sobre la práctica del principio de responsabilidad*. Barcelona: Paidós.
- JORGENSEN, Sven Erik and FATH, Biran (eds) (2010), *Global Ecology. A Derivative of Encyclopedia of Ecology*. Amsterdam, Oxford and San Diego: Academic Press / Elsevier.
- KOYRÉ, Alexandre (1979) *Del mundo cerrado al universo infinito*. México: Siglo XXI.
- KRIMSKY, Sheldon (2003) *Science in the private interest: has the lure of profits corrupted biomedical research?* Lanham, Maryland: Rowman and Littlefield.

- LACEY, Hugh (1998). *Valores e atividade científica 1*. São Paulo: Discurso Editorial.
- _____ (2006). *A controvérsia sobre os transgênicos: questões científicas e éticas*. Aparecida (SP): Idéias e Letras.
- _____ (2008). *Valores e atividade científica 2*. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia ; Editora 34.
- _____ (2008b). Ciência, respeito à natureza e bem-estar humano. *Scientiae Studia*, São Paulo, v.6, n.3, p.297-327.
- _____ (2009). O lugar dos valores no mundo dos valores e da experiência humana. *Scientiae Studia*, São Paulo, v.7, n.4, p.681-701.
- LANGLEY, Chris e PARKINSON, Stuart (2009) *Science and the corporate agenda*. The detrimental effects of commercial influence on science and technology. Scientists for Global Responsibility. Disponível em:
http://www.sgr.org.uk/SciencePolicy/SGR_corp_science_full.pdf
- LATOUCHE, Serge (2009) *Pequeno tratado do decrescimento sereno*. São Paulo: Martins Fontes.
- LE PRESTRE, Philippe (2000) *Ecopolítica internacional*. São Paulo: Senac.
- LECOINTRE, Guillaume (2012). *Les sciences face aux créationnismes*. Ré-expliciter le contrat méthodologique des chercheurs. Paris : Quae.
- LEITE, José Correa (2004) *As invenções da política: sobre a existência da política e suas transformações*. Tese de Doutorado em Ciências Sociais pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
- _____ (2008). Ecologia, tecnologia e conhecimento. *Revista Facom* n.19, São Paulo, p. 57-68.
- _____ (2009). Uma ciência integral, um propósito comum. *Revista Facom* n.21, São Paulo, p. 38-55.
- _____ (2011) As ciências do Sistema Terra e as disputas epistemológicas do século XXI. *Revista Facom* n.24, São Paulo, p. 40-55.
- LINDEMAN, Raymond (1942). The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology. *Ecology* 23: 399-418. Reproduzido de REAL e BROWN (1991): 157-176.
- LOGAN, Cheryl (2010). A Review of Ocean Acidification and America's Response. *BioScience* 60: 819-828. doi:10.1525/bio.2010.60.10.8
- LOVELOCK, James (1991), *Gaia: cura para um planeta doente*. São Paulo: Cultrix, 2006.

- _____ (2006), *A vingança de Gaia*. Rio de Janeiro: Intrínseca.
- _____ e MARGULIS, Lynn (1974) Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: The Gaia hypothesis. *Tellus* 26: 1-10.
- LYU, Y e CHEN, J. (2010) Phosphorus Cycle. In JORGENSEN, Sven Erik and FATH, Biran (eds) (2010): 204-213.
- MARKOWITZ, Gerard e ROSNER, David 2002 *Deceit and denial: the deadly politics of industrial pollution*. University of California Press. Berkeley, California,
- MARICONDA, Pablo Rubén (2006). O controle da natureza e as origens da dicotomia entre fato e valor. *Scientiae Studia*, São Paulo, v.4, n.3, p.453-472.
- _____ e LACEY, Hugh (2001) A água e os estorninhos: Galileu e a autonomia da ciência. *Tempo Social*, 13, 1, p.49-65.
- _____ e RAMOS, Maurício (2003) Transgênicos e ética: a ameaça à imparcialidade científica. *Scientiae Studia*, São Paulo, v.1, n.2, p.245-261.
- MCGARITY, Thomas e WAGNER, Wendy (2008) *Bending science: How special interests corrupt public health research*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- MEADOWS, D.H. et alii (1972). *The Limits to Growth*. New York, Universe Books.
- MICHAELS, David (2008) *Doubt is their product: how industry's assault on science threatens your health*. Oxford University Press, New York
- MODEN, D ed. (2007) *Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture*. Earthscan, London, and International Water Management Institute, Colombo.
- MURPHY, Michael e O'NEILL, Luke (org.) (1997) "O que é vida? 50 anos depois. São Paulo: Ed. da Unesp; Cambridge University Press.
- NAVEH, Zev (2000) The Total Human Ecosystem: Integrating Ecology and Economics, *BioScience*, 50, 4, pp. 357-361.
- ODUM, Eugene e BARRETT, Gary (2007), *Fundamentos de ecologia*. São Paulo: Cengage Learning.
- OLIVEIRA, Bernardo Jefferson de (2002) *Francis Bacon e a fundamentação da ciência como tecnologia*. Belo Horizonte: Editora da UFMG.
- OLIVEIRA, Marcos Barbosa de (2008). Neutralidade da ciência, desencantamento do mundo e controle da natureza. *Scientiae Studia*, São Paulo, v.6, n.1, p.97-116.

- _____ (2012). Sobre a mercantilização da ciência: a dimensão programática. Disponível em: <http://paje.fe.usp.br/~mbarbosa/mc-dp.pdf>.
- OLIVEIRA, Sonia Maria Barros de (2012). A intrincada relação entre clima e vida na história da Terra. In VEIGA, José Eli da (2012), p.99-138.
- ORESQUES, Naomi (1999) *The Rejection of Continental Drift: Theory and Method in American Earth Science*, Oxford University Press
- _____ (2007) The scientific consensus on climate change: How do we know we're not wrong? In Joseph F. DiMento, Pamela Doughman. *Climate Change*. MIT Press.
- _____ e CONWAY, Erik (2010) *Merchants of Doubt: How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Global Warming*, London, Bloomsbury.
- _____ e LE GRAND, Homer (eds) (2003) *Plate Tectonics: An Insider's History of the Modern Theory of the Earth*, Westview Press.
- ORR, James C. et alli (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms *Nature* 437, 681-686.
- PEARCE, Fred (2010), *The Climate Files: The Battle for the Truth About Global Warming*, Random House UK.
- PETERSON, T.C., CONNELLEY, W.M. e FLECK, J.(2008) "The Myth of the 1970s Global Cooling Scientific Consensus" *Bulletin of the American Meteorological Society* Vol. 89, p. 1325-1337.
- PITTOCK, A. Barrie (2009) *Climate Change*. 2 ed. Collingwood (VIC, Australia): CSIRO; London: Earth Scan.
- POTSDAM (2012) Potsdam Institute for Climate Impact Research, November 2012. *Turn Down the Heat: why a 4C warmer World Must be Avoided*. Report for the World Bank.
- PRICEWATERHOUSECOOPERS (2012). Too late for two degrees? Low carbon economy index 2012. Disponível em: <http://www.pwc.co.uk/sustainability-climate-change/publications/low-carbon-economy-index-overview.jhtml>
- PUTNAM, Hilary (2008), *O colapso da verdade e outros ensaios*. Aparecida (SP): Idéias e Letras.
- RAUPACH, Mike (2012). Earth-system science at a crossroads. Disponível em: <http://www.igbp.net/news/features/features/earthssystemscienceatacrossroads.5.19b40be31390c033ede80001358.html>

- REAL, Leslie and BROWN, James (1991), *Foundations of Ecology: Classic Papers with Commentaries*. Chicago and London, The University of Chicago Press.
- RESNIK, David (2007) *The Price of Truth: How Money Affects the Norms of Science*. New York: Oxford University Press.
- REYNOLDS, James et alii (2007). Global Desertification: Building a Science for Dryland Development. *Science* 316: 847-851.
- RICHTER, Burton (2010), *Beyond Smoke and Mirrors*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ROCKSTRON, Johan et alii (2009) Planetary Boundaries. *Ecology and Society* 14(2): 32.
Disponível em: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- SACHS, Jeffrey et al. (2009). Biodiversity Conservation and the Millennium Development Goals. *Science* 325:1502-1503.
- SHELLNHUBER, H.J. (1999) 'Earth system' analysis and the second Copernican revolution. *Nature* 402 supp: c19–c23.
- SCHINN, Terry; RAGOUEZ, Pascal (2008), *Controvérsias sobre a ciência*. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia ; Editora 34.
- SCHNEIDER, Stephen (2009) *Science as a Contact Sport*. Washington: National Geographic.
- SEN, Amartya (1999) *Development as freedom*. New York: Anchor Books.
- SMITH, P.D. (2008), *Os homens do fim do mundo*. São Paulo: Companhia das Letras.
- STEFFEN, Will, CRUTZEN, Paul J. and MCNEILL, John R (2007)., The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature? *Ambio* Vol. 36, No. 8.
- TANSLEY, A.G. (1935). The Use and Abuse of Vegetational Concept and Terms. *Ecology* 16:284-307. Reproduzido em REAL e BROWN (1991): 318-341.
- TARBUCK, Eduard and LUTGENS, Frederick (2009), *Earth Science*. 12 ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- TIEZZI, Enzo (1988) *Tempos históricos, tempos biológicos*. São Paulo: Nobel.
- TSIGARIDIS, K. et al.(2006). Change in aerosol composition since preindustrial times. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 6, 5585–5628.
- VEIGA, José Eli da (org.) (2012), *Gaia: de mito a ciência*. São Paulo: Editora Senac São Paulo.
- VERNARDISKY, Vladimir (2002). *La biosphère*. Paris: Éditions du Seuil.
- VITOUSEK, P. et al.(1997). Human Domination of Earth's Ecosystems *Science* 277: 494-499.
- WACKERNAGEL, Mathis e REES, William (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human*

Impact on the Earth. Gabriola Island, BC, Canada: New Society Publishers.

WIDDISON, P.E. e BURT, T.P. (2010). Nitrogen Cycle. In JORGENSEN, Sven Erik and FATH, Biran (eds) (2010): 190-197.

ZACCAI, Edwin, GEMENNE, François e DECROLY, Jean-Michel (eds.) (2012). *Controverses climatiques, sciences et politique*. Paris : SciencesPo. Les Presses.