

O fundamento central da Economia Ecológica

Andrei Cechin e José Eli da Veiga

(Janeiro 2009)

1. Introdução

Inúmeras questões teóricas que separam a economia ecológica da convencional estão destacadas em diversos capítulos deste livro. Mas será que alguma delas poderia ser apontada como uma espécie de big-bang da nova abordagem? Será que um dos fundamentos da economia ecológica pode ser entendido como um centro em torno do qual gravitam os demais?

Ao responder positivamente a essas perguntas, este capítulo também pode ser entendido como uma clarificação do caráter realmente paradigmático da ruptura com a economia convencional, cujo desdobramento prático é essencialmente a contestação do lugar nela ocupado pelo crescimento econômico.

Seis tópicos precedem a conclusão: o contraste dos “pontos de partida” das duas teorias econômicas (2); a relevância da noção de “metabolismo” (3); a importância decisiva da “termodinâmica” (4); a oposição cognitiva das duas teorias sobre o “processo produtivo” (5); o desdobramento otimista da teoria convencional (6); o

desdobramento “cético” da economia ecológica, conforme as teses de seus três principais teóricos (7).

2. Pontos de partida

Uma das principais diferenças entre as duas teorias econômicas, a ecológica e a convencional, está em seus respectivos pontos de partida. Mesmo que existam alguns conceitos comuns, eles são bem secundários se comparados às visões gerais de cada uma sobre a realidade. No fundo, são duas concepções de mundo, pois a convencional enxerga a economia como um todo, e quando chega a considerar a natureza, o meio ambiente, ou a biosfera, eles são entendidos como partes ou setores da macroeconomia: florestal, pesqueiro, mineral, agropecuário, áreas protegidas, pontos ecoturísticos, etc. Exatamente o inverso da economia ecológica, para a qual a macroeconomia é parte de um todo bem mais amplo, que a envolve e a sustenta: a ecossistêmica, para usar a expressão preferida por Samuel Murgel Branco, um dos mais importantes ecólogos brasileiros.¹

A economia é vista dessa última perspectiva como um subsistema aberto de um sistema bem maior, que é finito e não aumenta. É materialmente fechado, mesmo que aberto para a energia solar. Daí a necessidade de se ter desde logo bem presente as distinções

¹ Samuel Murgel Branco, *Ecossistêmica - Uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente*, S.Paulo, Editora Edgard Blücher, 1989; *Meio Ambiente & Biologia*, Editora Senac São Paulo, 2001.

conceituais que separam os sistemas ditos abertos, fechados e isolados.

Sistemas isolados são os que não envolvem trocas de energia nem matéria com seu exterior. O único exemplo razoável é o do próprio universo. No extremo oposto estão os **sistemas abertos**, que regularmente trocam matéria e energia com seu meio ambiente, como é o caso da economia. E os **sistemas fechados** só importam e exportam energia, mas não matéria. A matéria circula no sistema, mas não há entrada nem saída de matéria do mesmo. Na prática é o caso do planeta Terra, pois são irrisórios os casos de meteoros que entram ou de foguetes que não voltam.

O que mais interessa, portanto, é entender que a Terra é atravessada por um fluxo de energia extremamente significativo, que é finito e não crescente. Entra na forma de luz solar e sai como calor dissipado. Não haveria limite à expansão da economia se ela não fosse um subsistema aberto desse imenso sistema fechado. Mas se o pressuposto for inverso - e este é o ponto de partida da economia ecológica - então qualquer expansão da macroeconomia terá um custo. Qualquer aumento do subsistema exige algum tipo de contrapartida natural, fazendo com que tal decisão não possa ignorar seu "custo de oportunidade". ²

² Conceito da economia convencional incorporado pela ecológica, o custo de oportunidade representa o valor associado à melhor alternativa não escolhida. Ao se fazer uma escolha, deixam-se de lado as demais possibilidades, pois excludentes. À alternativa escolhida associa-se, como "custo de oportunidade", o maior benefício não obtido das possibilidades não escolhidas, isto é, "a escolha de determinada opção impede o usufruto dos benefícios que as outras opções

Em outras palavras, o crescimento econômico não ocorre no vazio. Muito menos é gratuito. Ele tem um custo que pode se tornar mais alto que o benefício, gerando um “crescimento antieconômico”, idéia sem sentido para qualquer economista convencional. Trata-se de uma fronteira intransponível: por recusar esse reducionismo, a economia ecológica considera que o crescimento possa ser econômico e antieconômico. Este é seu fundamento central, como procura explicar este capítulo.

3. Metabolismo

O mais óbvio exemplo do reducionismo assumido pela economia convencional está em desenho sempre estampado nas primeiras páginas de todo e qualquer manual de introdução à disciplina: o chamado “*diagrama do fluxo circular*”, que tenta ilustrar a relação entre produção e consumo.

Esse diagrama pretende mostrar como circulam produtos, insumos e dinheiro entre empresas e famílias em mercados de fatores de produção e de bens e serviços. As empresas produzem bens e serviços usando insumos classificados como trabalho, terra e capital, os chamados três fatores de produção. As famílias consomem todos os bens e serviços produzidos pelas empresas. Compram das empresas

poderiam proporcionar”. O mais alto valor associado aos benefícios não escolhidos pode ser entendido como um custo da opção escolhida, custo chamado “de oportunidade”.

nos mercados de bens e serviços. E nos mercados de fatores são vendidos os insumos necessários à produção comprados pelas empresas. O circuito interno do diagrama mostra os fatores fluindo das famílias para as empresas, e os bens e serviços fluindo das empresas para as famílias. O circuito externo mostra o fluxo monetário.

Tal alicerce epistemológico apresenta uma visão inteiramente falsa de qualquer economia, considerando-a um sistema isolado no qual nada entra e do qual nada sai, e fora do qual não há nada. É uma representação da circulação interna do dinheiro e dos bens, sem absorção de materiais e sem liberação de resíduos. Ora, se a economia não gerasse resíduo e não exigisse novas entradas de matéria e energia, então ela seria o sonhado moto-perpétuo, capaz de produzir trabalho ininterruptamente consumindo a mesma energia e valendo-se dos mesmos materiais. Seria um reciclador perfeito.

É uma visão que contradiz a mais básica ciência da natureza - a física - e particularmente a **termodinâmica**, ramo que estuda as relações entre calor e trabalho. A segunda lei da termodinâmica diz que a dissipação de energia tende a um máximo em sistema isolado, como o universo. E energia dissipada não pode mais ser utilizada.

Na física se aprende que toda transformação energética envolve produção de calor que tende a se dissipar. Considera-se calor a forma mais degradada de energia, pois embora parte dele possa ser recuperada para algum propósito útil, não é possível aproveitá-lo

totalmente por causa de sua tendência à dissipação. É isso que diz a segunda lei da termodinâmica, a **lei da entropia**: a degradação energética tende a atingir um máximo em sistema isolado, como o universo. E não é possível reverter esse processo. Isso quer dizer que o calor tende a se distribuir de maneira uniforme por todo o sistema, e calor uniformemente distribuído não pode ser aproveitado para gerar trabalho.

Como as mais diversas formas de vida são sistemas abertos, elas só se mantêm como oposição temporária ao processo entrópico. Há entrada de energia e materiais, mas nem toda energia pode ser utilizada: o calor dissipado não é capaz de realizar trabalho. Diz-se que a energia e matéria aproveitáveis são de **baixa entropia** e que, quando utilizadas na manutenção da organização do próprio sistema, são dissipadas, se tornando, portanto, de **alta entropia**. Os organismos vivos existem, crescem e se organizam importando energia e matéria de qualidade de fora de seus corpos, e exportando a entropia.³

Também é assim que o chamado sistema econômico mantém sua organização material e cresce em escala: é **aberto** para a entrada de energia e materiais de qualidade, mas também para a saída de

3 Quem primeiro mostrou que o pressuposto básico da economia convencional é incompatível com a física foi Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994), um matemático romeno que se tornou economista nos Estados Unidos por influência de Joseph Schumpeter, com quem pesquisou sobre os ciclos. Seu alerta é o principal alicerce da economia ecológica, ignorado pela economia predominante no século XX, que permaneceu essencialmente mecânica. Uma excelente fonte atual sobre o conceito de entropia é o livro *Into the cool: Energy flow, Thermodynamics and Life*, de Eric Schneider & Dorion Sagan (University of Chicago Press, 2005).

resíduos. Toda a vida econômica se alimenta de energia e matéria de baixas entropias, e gera como subprodutos resíduos de alta entropia. Por isso, não pode ser entendido como um moto-perpétuo⁴. Ou seja, concentrados no fluxo circular monetário, os economistas se esqueceram do fluxo metabólico real.⁵

O ponto de partida do ensino que continua a ser ministrado em todos os cursos de economia fica simplesmente inaceitável quando se percebe a dissociação que ele estabelece entre o processo econômico e a ecossistêmica, ignorando esse fundamento metabólico da relação que existe entre eles.

A noção de metabolismo tem sido usada para se referir aos processos específicos de regulação que governam essa complexa troca entre organismos e meio ambiente. É largamente empregada pelos ecólogos para se referir ao conjunto dos níveis biológicos, da célula ao

4 Também conforme a segunda lei da termodinâmica, o Universo está se tornando cada vez mais desordenado, sem que seja possível fazer alguma coisa para mudar tal tendência. O mero ato de viver contribui para a degeneração do mundo. Independente dos avanços tecnológicos, eles nunca poderão evitar completamente o desperdício de alguma energia e o desgaste. A segunda lei não apenas acaba com o sonho de uma máquina de moto perpétuo, como sugere que o Cosmos, ao final, esgotará sua energia disponível e adormecerá em êxtase eterno, conhecido como morte térmica. Cf. J. Miguel Rubi, "O longo braço da Segunda Lei", *Scientific American Brasil*, 79, dez. 2008, pp. 62-67; e Sean M. Carroll, "As origens cósmicas da seta do tempo", *Scientific American Brasil*, 74, jun. 2008, pp. 28-35.

5 Metabolismo é o processo bioquímico mediante o qual um organismo, ou uma célula, se serve dos materiais e da energia de seu meio ambiente e os converte em unidades constituintes do crescimento. O termo "metabolismo" (*Stoffwechsel*) surgiu por volta de 1815, mas só começou a ser largamente adotado por fisiologistas alemães nas décadas de 1830 e 1840, para se referir primariamente a trocas materiais dentro do organismo, relacionadas com a respiração. E recebeu uma aplicação mais ampla e corrente ao ser usado por Justus von Liebig em 1842 na *Animal chemistry* (a grande obra subsequente à *Agricultural chemistry*, de 1840), na qual usou a noção de processo metabólico no contexto da degradação de tecidos. Mais tarde ela se generalizou como conceito-chave, aplicável tanto às células quanto à análise de organismos inteiros. E depois passou a ser categoria fundamental de muitas teorias científicas.

ecossistema. E o elemento essencial da noção de metabolismo sempre foi a idéia de que ele constitui a base que sustenta a complexa teia de interações necessária à vida.

As mudanças sociais nunca foram nem poderão ser independentes das relações que os humanos mantêm com o resto da natureza. Daí a importância da idéia de **metabolismo socioambiental**, que capta os fundamentos da existência dos seres humanos como seres naturais e físicos, com destaque para as trocas energéticas e materiais que ocorrem entre os seres humanos e seu meio ambiente natural. De um lado, o metabolismo é regulado por leis naturais que governam os vários processos físicos envolvidos. De outro, por normas institucionalizadas que governam a divisão do trabalho, a distribuição da riqueza, etc.

4. Mecânica versus termodinâmica

A economia convencional provém de analogias e metáforas sobre outro importante ramo da física: a mecânica clássica. Ela parte do princípio de que é possível entender os fenômenos, independente de onde, quando e por que ocorrem. Um pêndulo simples é um sistema mecânico ideal, portanto seu funcionamento é um bom exemplo. Será igual aqui ou no Japão, hoje ou daqui a mil anos. Tampouco importa quem deu início ao movimento do pêndulo. É possível prever a posição exata do pêndulo com base em poucas informações. Para tal, é necessário um princípio de conservação que permita manter

certa identidade ao longo do tempo. A energia do pêndulo em seu ponto mais alto é chamada de potencial. À medida que cai, tal energia vai se transformando em energia cinética. No ponto mais baixo a energia cinética é máxima. A energia mecânica total é igual à energia cinética mais a energia potencial. Um tipo de energia se transforma totalmente em outro, mas considera-se que o total da energia do pêndulo não se altera. Assim, é possível prever sua posição exata. Algo deve permanecer constante para que se saiba onde estará o pêndulo.

Entusiasmados pela elegância e capacidade de previsão da mecânica, os pioneiros da economia moderna consideraram que há algo no sistema econômico que se mantém constante: o valor seria como a energia. Sobraria, assim, o problema da alocação desse valor por meio das trocas. É nesse sentido que a estrutura analítica da economia convencional é uma metáfora mecânica, mais especificamente do princípio de conservação da energia na física⁶.

A lei da conservação da energia, ou primeira lei da termodinâmica, sustenta que *em um sistema isolado*, como o universo - em que não há troca de matéria nem energia com o meio - *a quantidade de energia permanece constante*. Em outras palavras, diz que não há

6 O economista Philip Mirowski dedicou dois de seus livros ao tema da comparação entre a evolução do pensamento econômico com a evolução do pensamento na física, e a influência que esta última exerceu na economia. São elas: Philip Mirowski, *Against Mechanism: protecting economics from science*. Totowa, NJ: Rowman and Littlefield, 1988; e Philip Mirowski *More Heat than Light: Economics as Social Physics, Physics as Nature's Economics*. Cambridge University Press, 1989.

criação ou destruição de energia, mas apenas transformação de uma forma em outra.

A segunda lei da termodinâmica é que a **entropia do universo aumenta**. E a *qualidade da energia num sistema isolado, como o universo, tende a se degradar*, tornando-se indisponível para a realização de trabalho. Daí a forma embrionária da entropia estar na idéia de que as mudanças no caráter da energia tendem a torná-la inutilizável. A relação entre a energia desperdiçada ou “perdida” - que não pode mais ser usada para realizar trabalho - e a energia total do sistema é considerada a entropia produzida.

Nenhuma outra lei da física distingue o passado do futuro; apenas a segunda lei da termodinâmica define a *flecha do tempo*, explicando a direção de todos os processos, física ou quimicamente espontâneos. Sob esta ótica, como a dissipação de calor é inerente a toda transformação energética, qualquer que seja o sistema só pode ter uma direção no tempo.

A mecânica, ao contrário, parte do princípio de que todos os movimentos são reversíveis, e por isso não consegue lidar com o movimento unidirecional do calor. Essa peculiaridade da mecânica corresponde ao fato de que as equações não se alteram ao sinal da variável que representa o tempo. Ou seja, não há passado nem futuro. A mecânica abstrai o tempo histórico, a dissipação irreversível, para poder se preocupar apenas com os aspectos reversíveis da locomoção. Ou seja, com a mudança de posição de um

objeto. No entanto, os processos irreversíveis constituem a regra na natureza.

A economia convencional continua presa à física do século XIX. Nem de longe incorporou os avanços ocorridos no século passado. Assim, a proximidade com a mecânica impediu que o estudo do processo econômico fosse permeado pela atenção às relações biofísicas com seu entorno. Afinal, a metáfora mecânica na economia implica em não reconhecer os fluxos de matéria e energia que entram e saem do processo, assim como a diferença qualitativa entre o que entra e o que sai.

As transformações qualitativas promovidas pelo processo econômico têm direção no tempo e são irreversíveis. O sistema produtivo transforma matéria-prima em produtos, que a sociedade valoriza, e gera algum tipo de resíduo, que não entra de novo na cadeia. Se a economia capta recursos de qualidade de uma fonte natural, e depois devolve resíduos sem qualidade à natureza, então não é possível tratá-la como um ciclo isolado. Por isso, a transformação econômica jamais poderá ser explicada pela física da primeira metade do século XIX. Mesmo assim, até o final da década de 1960 não houve qualquer questionamento da visão da economia isolada da natureza, nem abandono da vinculação à metáfora mecânica.

5. O processo produtivo

A abordagem convencional ignora as diferenças qualitativas entre fatores de produção. A rigor, o que normalmente se chama de produção deveria ser denominado *transformação* para que não ficasse obscuro o que acontece com os elementos da natureza no processo econômico. É preciso diferenciar o que entra e sai relativamente inalterado do processo produtivo daquilo que se transforma dentro dele.

Em intervalo de tempo curto não se alteram os chamados “fundos”: patrimônio natural (terra), recursos humanos (trabalho) e meios de produção (capital). Os três fatores que passaram a ser chamados de “capital natural/ecológico”, “capital humano/social” e “capital físico/construído”.

Todavia, os denominados fluxos - a energia e os materiais advindos diretamente da natureza ou de outro processo produtivo - se transformam em produtos finais, em resíduos e em poluição.

Há, pois, fluxos de entrada (materiais e energia) e de saída (produtos e resíduos) no processo produtivo. Os fluxos são as substâncias materiais e a energia que cruzam a fronteira do processo produtivo, e não devem ser confundidos com os serviços prestados pelos fundos. Apenas os elementos que fluem no processo podem ser fisicamente incorporados ao fluxo de produtos finais.

Um dos problemas básicos da abordagem convencional da produção está em reduzir o processo a uma questão de alocação. Essa abordagem trata todos os fatores como se fossem de natureza semelhante, supondo que a substituição entre eles não tem limites, e que o fluxo de recursos naturais pode ser facilmente e indefinidamente substituído por capital. Para o economista convencional, há substituição quando um fator de produção se torna relativamente mais escasso do que os outros e, portanto, mais caro. Se o preço de um recurso natural aumenta, sua participação relativa no processo produtivo diminui.

Entretanto, o papel desempenhado pelas duas categorias de fatores é radicalmente diferente em qualquer processo de transformação. É possível que determinado fator seja redundante em relação à determinada atividade, pela falta de um fator complementar. Ou seja, pode ser que um aumento na quantidade disponível de determinado fator, como o capital, na ausência de outros, como a energia, não represente um acréscimo da atividade considerada.

Um confeitiro faz bolos com uma batedeira, seu capital. Farinha, ovos e açúcar são fluxos de entrada. Não é possível aumentar a quantidade de bolos produzidos, dobrando-se a quantidade de confeitiros e de batedeiras, tudo o mais constante. Para aumentar o fluxo do produto bolo é necessário aumentar a quantidade dos ingredientes básicos. Esse é um exemplo da complementaridade existente entre os fatores de produção.

Como o conhecimento tecnológico é incorporado às máquinas e equipamentos, geralmente considera-se que o capital “substitui” os outros fatores. Claro que existe a possibilidade de haver melhorias no desempenho do fator capital. E a consequência disso é uma menor utilização de fatores, como trabalho e recursos naturais, **por unidade de serviço prestado.**

No entanto, é problemático acreditar que isso seja um exemplo de substituição. Uma máquina mais eficiente em termos de transformação de recursos naturais em bens e serviços diminui o desperdício, mas redução na geração de resíduos não é o mesmo que substituição⁷. A própria máquina mais eficiente, sendo adicional, exigiu a utilização de recursos materiais e energéticos em sua produção. São, portanto, as duas maiores distorções da abordagem convencional ignorar o fluxo inevitável de resíduos e apostar na substituição sem limites dos fatores.

6. Otimismo

7 No capítulo 9 do já clássico *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971, Nicholas Georgescu-Roegen esmiúça os problemas da abordagem convencional para a produção e propõe uma nova representação analítica para o processo. Para entender a importância de Georgescu-Roegen na discussão sobre substituição e complementaridade ver Philip Lawn, “On Georgescu-Roegen’s contribution to ecological economics”. *Ecological Economics*, 29: 5-8, 1999.

Os recursos naturais transformados pelo processo econômico são caracterizados pela sua baixa entropia, ou seja, organização material, concentração e capacidade de realizar trabalho. Pode-se dizer que a baixa entropia é uma condição necessária, ainda que não suficiente, para que algo seja útil para a humanidade. No entanto, a literatura econômica convencional insiste que o processo pode continuar - e até crescer - sem a necessidade de recursos de baixa entropia⁸. Isso está relacionado à fé incondicional no poder redentor da tecnologia.

Trata-se de um otimismo ingênuo que supõe que a tecnologia dependa apenas da engenhosidade humana e de preços relativos. Além disso, considera que a tecnologia é capaz de promover qualquer substituição que se mostre necessária. Assim, não se percebe os limitantes biofísicos das tecnologias e nem a singularidade dos serviços prestados pela natureza - serviços insubstituíveis e essenciais para a sobrevivência humana, embora sem preço de mercado.

A visão da economia convencional sobre a sustentabilidade ambiental tem origem, portanto, na maneira como ela aborda o processo produtivo, tratando os fatores de produção sem qualquer distinção qualitativa, e por isso considerando-os substitutos. Seu critério é que o consumo *per capita* possa ser sustentado indefinidamente e no nível mais elevado possível. Na melhor das hipóteses, alguns economistas

⁸ Um exemplo desta visão mecanicista é o livro-texto "Introdução à teoria do crescimento econômico" de Charles Jones (2000), que sequer menciona o ambiente, seja como provedor de recursos naturais (ignorados por Jones), seja como assimilador de resíduos do processo produtivo. Para se ter uma idéia, a palavra "energia" não aparece no livro sobre crescimento.

convencionais que se dedicaram à questão ambiental chegaram a admitir a necessidade de conservação, em vez de substituição, de todo o capital natural. Mas eles formam a exceção que confirma a regra.

Para os economistas convencionais, o que deve ser conservado para que o consumo *per capita* se mantenha constante é a soma dos chamados “três fatores”. Dada a disponibilidade finita de alguns recursos naturais, é preciso satisfazer duas condições. A primeira é a possibilidade de haver progresso técnico que poupe recursos, e a segunda é a viabilidade de trabalho e capital substituírem tais recursos na produção⁹.

A abordagem convencional vê o capital natural e o capital manufaturado como substitutos. Não há fator limitante. É como se mais bolos pudessem ser feitos dobrando-se a quantidade de batedeiras e confeitores, prescindindo de quantidades adicionais de farinha, ovos e açúcar. Tal visão de como funciona o processo produtivo levou a uma idéia inteiramente equivocada do que seria a sustentabilidade ambiental. A economia ecológica, ao contrário, vê complementaridade entre patrimônio natural e meios de produção (capital). O que for mais escasso será o limitante do aumento da produção. Fatores limitantes podem ser principalmente as fontes de energia utilizável e a capacidade de o ambiente absorver resíduos.

⁹ Robert Solow, “The Economics of Resources or the Resources of Economics”. *American Economic Review*, 64 (2): 1-14, 1974. Robert Solow, “An almost practical step toward sustainability”. *Resources Policy*, 19 (3): 162-172, 1993.

Quando se trata de questões de sobrevivência e qualidade de vida da humanidade no longo prazo, o otimismo predominante entre os economistas advém da preocupação exclusiva com os efeitos de determinados impactos no crescimento econômico. Desse ponto de vista, a questão da sustentabilidade significa saber apenas se o crescimento na produção de bens e serviços com valores monetários pode se sustentar no curto prazo mesmo que alguns insumos sejam finitos¹⁰.

A defesa do crescimento econômico chega ao ponto, por exemplo, de menosprezar a importância e singularidade da agricultura. Ao escreverem sobre as conseqüências econômicas do aquecimento global, economistas consagrados¹¹ afirmaram que um colapso da agricultura poderia não ser problema conquanto houvesse crescimento na produção de outros bens e serviços de valor monetário equivalente ou superior, pois tal setor contribui com ínfima parcela do PIB. Está aí embutido o raciocínio de substituição das atividades que compõem o PIB em que se perde de vista o caráter primário da produção agropecuária.

10 Convocado em 1997 para responder às críticas feitas por Georgescu-Roegen nos anos 1970, o Nobel Joseph Stiglitz disse que a economia se preocupa com prazos de no máximo 50 anos, e que as questões levantadas por Georgescu-Roegen não pertencem ao escopo dessa disciplina. Joseph Stiglitz, "Georgescu versus Solow/Stiglitz". *Ecological Economics*, 22 (3) pp. 269-270, 1997.

11 Um caso notório é o Nobel em economia Thomas.C. Schelling, no artigo "The Cost of Combating Global Warming", *Foreign Affairs*, 76 (6): 54-66, 1997.

O mesmo tipo de argumento é usado com respeito aos recursos fósseis. Como a indústria do petróleo representa apenas 1% do produto econômico global, ou como a energia representa apenas 5% dos custos de produção, ou como o custo energético como percentagem do PIB está declinando, tais recursos não seriam tão importantes. É o mesmo que dizer que, como o coração humano representa apenas 5% do peso do corpo, seria possível viver sem ele. A redução a valores monetários faz com que se esqueça que a energia sempre foi um dos fatores mais críticos na história da humanidade.

A abordagem economicista na análise da questão das mudanças climáticas considera que os serviços prestados pela natureza à agricultura, como o clima equilibrado, poderiam ser “substituídos” sem prejuízo ao processo econômico. Tais serviços incluem as funções de regulação do clima e manutenção dos ciclos biogeoquímicos fundamentais para vida. Apesar de fundamentais, são serviços gratuitos, muito dificilmente passíveis de precificação ou titularidade e, pior, insubstituíveis.

A maior parte dos serviços da natureza é ignorada na recente iniciativa do Banco Mundial de medir a sustentabilidade do desenvolvimento dos países.¹² O desenvolvimento sustentável seria aquele em que a riqueza total de uma sociedade se conserva ou

12 Apesar de ser um passo grande rumo ao abandono do PIB como indicador de prosperidade material das sociedades, no que se refere à sustentabilidade ambiental do desenvolvimento, a abordagem do Banco Mundial ainda é refém da visão economicista que considera os tipos de riqueza como inteiramente substitutos. World Bank, *Where is the wealth of Nations? Measuring Capital for the 21st Century*. Washington, DC, The World Bank, 2006.

aumenta. Nessa aferição, o capital natural é tratado apenas como uma fonte de fluxos de recursos, tais como os minerais, os combustíveis fósseis e os nutrientes do solo, prontos para serem transformados pelo processo produtivo. Entretanto, o capital natural é também um fundo de serviços intangíveis. E os serviços prestados pela natureza, apesar de não serem integrados fisicamente aos produtos, são fundamentais para as formas de vida conhecidas.

A preocupação com a sustentação do crescimento no curto prazo é diferente da preocupação com a capacidade do ambiente de assimilar os resíduos sem perder irreversivelmente suas funções de suporte à vida. Não se sabe qual o ponto de impacto a partir do qual os danos ao ambiente serão irreversíveis. Pode ser desastrosa, portanto, a análise apenas monetária de questões referentes à sustentabilidade ambiental do processo de desenvolvimento. Estes dão a impressão que o dano pode ser revertido se houver dinheiro o suficiente. É fundamental que se avalie os custos ecológicos do crescimento com base em indicadores biofísicos.

7. Ceticismo

São duas as fontes mais básicas para a reprodução material da humanidade: os estoques terrestres de minerais e energia, mais o fluxo solar. Os estoques terrestres são limitados, e sua taxa de utilização pela humanidade é facultativa. A fonte solar, por outro lado, é praticamente ilimitada em quantidade total, mas altamente limitada em termos da taxa que chega à Terra. Há ainda outra

diferença: os estoques terrestres abastecem a base material para as manufaturas, enquanto o fluxo solar é responsável pela manutenção da vida.

A humanidade pode ter total controle sobre a utilização dos estoques terrestres, mas não sobre o fluxo solar. É possível determinar o ritmo de consumo de minérios e combustíveis fósseis, mas sempre tendo em vista que são recursos finitos. Dessa forma, a taxa de utilização determinará em quanto tempo esses insumos estarão inacessíveis.

O segundo aspecto da reprodução material da humanidade, a produção de resíduo, gera um impacto físico geralmente prejudicial a uma ou outra forma de vida, e direta ou indiretamente à vida humana. Deteriora o ambiente de várias maneiras. Exemplos conhecidos são a poluição por mercúrio e a chuva ácida, o lixo radioativo, e a acumulação de CO₂ na atmosfera.

Os resíduos do processo econômico estão se revelando um problema anterior à escassez de recursos devido a seu acúmulo e visibilidade na superfície. Nesse contexto, o aquecimento causado por atividades humanas tem provado ser um obstáculo maior ao crescimento econômico sem limites do que a finitude dos recursos acessíveis¹³.

13 Como reconheceu Georgescu-Roegen: "Uma vez que a lei de Entropia não possibilita nenhum meio para esfriar o planeta aquecido continuamente, a poluição térmica pode provar-se um obstáculo mais crucial ao crescimento do que a finitude dos recursos acessíveis". Nicholas Georgescu-Roegen, *Energy and Economic Myths*. New York: Permagon Press, 1976, p.14.

Ora, a utilização dos recursos energéticos e materiais terrestres no processo produtivo, mais a acumulação dos efeitos prejudiciais da poluição no ambiente, mostram o grau de importância da influência da atividade econômica de uma geração sobre a atividade das gerações futuras. Não há mágica: crescimento da produção exige mais energia e materiais do ambiente, e libera mais resíduos na outra ponta.

Partindo dessa constatação, surgiram três visões básicas sobre o futuro do processo econômico: a “economia do astronauta”, o “decrescimento” e a “condição estacionária”, ligadas respectivamente aos três mais importantes “genitores” da economia ecológica: Kenneth Boulding (1910-1993)¹⁴, Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994)¹⁵ e Herman Daly (1938-)¹⁶.

Kenneth Boulding, inglês radicado nos Estados Unidos, teve grande importância durante os anos 1950 na constituição de uma teoria geral dos sistemas junto com cientistas das mais diversas áreas. Seu esforço intelectual foi o de re-conectar a economia com a ética e com a base material que sustenta o processo, a natureza. Em 1966 publicou um artigo que se tornou clássico, inspirando muitos a seguirem uma linha de pesquisa interdisciplinar que envolvia economia e ecologia. Para Boulding, o sucesso da economia não está

14 Kenneth Boulding, “The economics of the coming spaceship Earth”, in: H. Jarett (Ed.) *Environmental quality in a growing economy*. Resources for the Future/Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 1966.

15 Georgescu-Roegen, *Energy and Economic Myths*. New York: Permagon Press, 1976.

16 Herman Daly, *Towards a Steady State Economy*. San Francisco: W.H. Freeman & Co, 1973.

relacionado ao aumento da produção e do consumo, mas sim às mudanças tecnológicas que resultem na manutenção do estoque de capital com a menor utilização possível de recursos naturais. O fluxo metabólico da humanidade é algo que deve ser minimizado e não maximizado. No futuro não haverá escolha: o *modus operandi* do processo econômico será um sistema circular auto-renovável em termos materiais, sendo necessário apenas o aproveitamento econômico da entrada de energia solar.

A humanidade só entendeu muito recentemente que se encontra num mundo esférico finito, e não em um plano ilimitado. Se o mundo é um sistema fechado para materiais, mas aberto para entradas e saídas de energia, então seria, segundo Boulding, como uma nave espacial. Daí a expressão “economia do astronauta”. Em contraste com o que prevaleceu ao longo da história: a “economia do cowboy”, que está relacionada à exploração de novos recursos e à expectativa de expansão das fronteiras que delimitam os domínios do homem.

No mesmo ano desse influente artigo de Boulding, 1966, o romeno Nicholas Georgescu-Roegen, também radicado nos Estados Unidos, foi quem mostrou que a abordagem convencional da produção, base das teorias de crescimento econômico, viola as leis da termodinâmica - em especial a lei da entropia. Essa pioneira contribuição está numa introdução de mais de cem páginas a uma coletânea de artigos sobre a teoria do consumidor, que haviam sido publicados em revistas científicas. É uma espécie de esboço do que foi depois desenvolvido com muito mais rigor no livro *The entropy law and the economic*

process, de 1971, a principal referência bibliográfica sobre o que está sendo chamado aqui de fundamento central da economia ecológica.

Segundo a termodinâmica, a quantidade de matéria e energia incorporada aos bens finais é menor do que aquela contida nos recursos utilizados na sua produção. Em outras palavras, uma parte da energia e do material de baixa entropia transformados se torna imediatamente resíduo. Isso significa que não se pode alcançar uma eficiência produtiva total. Evidentemente, a quantidade de baixa entropia desperdiçada no processo depende do estado da tecnologia de produção em um dado momento. Avanços na tecnologia de produção significam menos desperdício, com maior proporção de material e energia de baixa entropia incorporada aos bens finais¹⁷. Mas isso não significa que esteja havendo substituição.

Existe, de fato, o potencial para que mais bens possam ser produzidos a partir de uma mesma quantidade de recursos energéticos e materiais. Mas uma vez alcançado o limite termodinâmico da eficiência, a produção fica totalmente dependente da existência do provedor de recursos adicionais, que é o capital natural. À medida

17 Georgescu-Roegen foi crítico ferrenho da economia convencional por esta crer na possibilidade do "Jardim do Éden", uma economia inteiramente desmaterializada. Nicholas Georgescu-Roegen, "Comments on Stiglitz and Daly", in: Vincent Kerry Smith, *Scarcity and Growth reconsidered*. John Hopkins University Press, 1979.

que se chega mais perto desse limite a dificuldade e o custo de cada avanço tecnológico aumentam.

No limite, energia e matéria de baixa entropia são os únicos insumos do processo econômico. Apesar da função essencial dos fundos capital e trabalho na produção, esses são agentes transformadores que também dependem de recursos de baixa entropia para serem produzidos e mantidos. Já os resíduos de alta entropia representam o produto final do processo econômico, uma vez que o único produto material da fase de consumo é o resíduo entrópico que retorna ao ambiente.

Para Georgescu-Roegen, o único fator limitante do processo econômico é a natureza. Como o planeta é finito e materialmente fechado, o sistema econômico não pode existir indefinidamente, mesmo que não aumente de tamanho. Além do mais, energia não é o único fator necessário à produção. Materiais como os minérios são utilizados em larga escala no processo industrial, e não é realista imaginar a reciclagem total daquilo que foi dissipado.

Uma economia que dependesse inteiramente da utilização direta da radiação solar, e que reciclasse os materiais dissipados pelo processo industrial (economia do astronauta de Boulding) poderia, em tese, operar como um ciclo fechado. No entanto, para Georgescu-Roegen, a economia do astronauta está fundada no mito de que todos os minérios passarão à categoria de recursos renováveis. De fato, reciclagem total dos materiais não seria possível na prática. Por isso,

o processo econômico necessariamente será declinante a partir de determinado momento - por mais remoto que possa estar o início dessa tendência.

Herman E. Daly, o mais importante economista ecológico da atualidade, foi aluno de Georgescu-Roegen e por ele muito influenciado. Considera que quando os argumentos de Kenneth Boulding e Georgescu-Roegen são levados a sério, é impossível ignorar os custos e benefícios finais do processo econômico. Tais argumentos teriam como consequência principal a rejeição ao dogma do crescimento. Contudo, Daly não compartilha do mesmo grau de ceticismo de seu mestre romeno. Resgata uma idéia cara aos economistas clássicos que havia sido esquecida no século XX: a *condição estacionária (CE)*¹⁸. Ela é entendida como aquele estado em que a quantidade de recursos da natureza utilizada seria suficiente apenas para manter constantes o capital e a população. Os recursos primários só seriam usados para melhorar qualitativamente os bens de capital.

18 Daly baseou-se inicialmente no "stationary state", conceito do economista britânico John Stuart Mill, em que a população e o capital tenderiam a parar de crescer e se manteriam constantes. O termo gerou confusão depois que os neoclássicos redefiniram a expressão como sendo um estado em que a tecnologia e as preferências são constantes, mas em que o capital e a população poderiam continuar crescendo. Para evitar mal-entendidos, Daly adotou o termo "steady state" das ciências biológicas e físicas. Apesar de parecer uma boa escolha, afinal estava argumentando do ponto de vista de princípios biofísicos, o "steady state" nessas ciências não permite mudanças qualitativas. Para piorar, modernos economistas do crescimento passaram a usar o termo "steady state growth" para se referirem a um caso especial de crescimento em que a proporção entre capital e população não varia, mas em que ambos crescem a taxas constantes. Herman Daly E. & Kenneth Townsend (orgs). *Valuing the Earth: Economics, Ecology, Ethics*. MIT Press, 1993, p.366.

Uma boa analogia é a de uma biblioteca lotada em que a entrada de um novo livro deve exigir o descarte de outro de qualidade inferior. A biblioteca melhora sem aumentar de tamanho. Transposta para a sociedade, essa lógica significa obter desenvolvimento sem crescimento material: a escala da economia é mantida constante enquanto ocorrem melhorias qualitativas.

Essas mudanças qualitativas têm a ver com o aumento da eficiência com que o capital gera serviços e da eficiência no uso de recursos naturais para manutenção do capital. A primeira está relacionada ao fluxo de serviços de uma dada quantidade de capital construído; a segunda, ao fluxo biofísico do meio ambiente necessário para manter esse capital. Mas o aumento dessas duas eficiências tem um limite, o que faz com que o desenvolvimento no estado estacionário só possa ser definido pelo aumento da capacidade de conhecimento dos seres humanos.

A proposta recebeu severas críticas de Georgescu-Roegen, que a considerou um “mito de salvação ecológica”¹⁹. Ela transmite a idéia de que seria possível manter indefinidamente os padrões de vida e de conforto já alcançados nos países abastados, e de que o fim do crescimento significaria uma vitória sobre a entropia. É um silogismo, pois dá a falsa impressão de que a manutenção de um determinado

19 Críticas de Georgescu-Roegen à idéia de condição estacionária podem ser encontradas em *Energy and Economic Myths*. New York: Permagon Press, 1976; “The Steady State and Ecological Salvation: A Thermodynamic analysis”. *BioScience*, 27 (4): 266-270, 1977; e “Comments on Stiglitz and Daly”, in: Vincent Kerry Smith, *Scarcity and Growth reconsidered*. John Hopkins University Press, 1979.

padrão de vida, com capital e população constantes, não implica escassez progressiva das fontes terrestres de energia e materiais.

Georgescu-Roegen vai além da condição estacionária e da economia do astronauta. Dado o caráter inevitável do decrescimento, consequência da limitação material da Terra, propõe que esse processo seja voluntariamente iniciado, em vez de vir a ser uma decorrência da escassez de recursos. Quanto mais cedo começar tal encolhimento da economia, maior será a sobrevida da atividade econômica da espécie humana.

Todavia, a condição estacionária, evocada por Herman Daly, também deve ser vista como uma estratégia para prolongar a permanência da espécie humana, mesmo que tenha um caráter apenas transitório²⁰. A rigor, a defesa da condição estacionária está fortemente ancorada na noção que a partir de certo ponto (desconhecido) o crescimento deixa de ser benéfico e passa a comprometer seriamente a possibilidade de que as gerações futuras usufruam qualidade de vida semelhante, ou melhor, que a da geração atual. Daí a idéia de manter constantes o estoque de capital manufaturado e o tamanho da população, minimizando, na medida do possível, a utilização dos recursos naturais. Dependendo do nível em que forem mantidos constantes tais estoques, a capacidade do capital natural prover recursos e serviços além de absorver resíduos não é comprometida.

20 Herman Daly E & Kenneth Townsend (orgs). (1993). *Valuing the Earth: Economics, Ecology, Ethics*. MIT Press, 1993, p.378.

É justamente essa ênfase na questão da escala, do tamanho físico da economia frente à ecossistêmica, que diferencia a economia ecológica. Tanto é que algumas das perguntas fundamentais dessa corrente são: quão grande é o tamanho do subsistema econômico em relação à ecossistêmica? Quão grande poderia ser, ou seja, qual a sua escala máxima? Há uma escala ótima a partir da qual os custos adicionais do crescimento da economia começam a superar os ganhos em termos de bem estar?

Se a economia crescesse no vácuo, tais perguntas não fariam o menor sentido. Mas como ela cresce num sistema finito e não-crescente, há um custo para tal crescimento. O custo advém do fato de a economia ser um **sistema dissipativo** sustentado por um fluxo metabólico. Tal fluxo tem início com a utilização e conseqüente escasseamento dos recursos naturais, e termina com o retorno da poluição ao ambiente. Escasseamento e poluição não são bens econômicos. Estão mais para “mal” do que pra “bem”, pois a economia em crescimento degrada as fontes de recursos e os sorvedouros de resíduos, que são a base material que sustenta a atividade humana. Tais custos ecológicos associados ao aumento da escala do sistema econômico não são computados pelas contabilidades nacionais e nem são passíveis de valoração monetária. Mas se forem maiores que os benefícios gerados pelo crescimento, este estará sendo antieconômico.

A economia ecológica leva em conta todos os custos (não apenas os monetários) do crescimento da produção material. É inteiramente cética sobre a possibilidade de crescimento por tempo

indeterminado, e mais ainda quanto à ilusão de que o crescimento possa ser a solução para os problemas ecológicos.

8. Conclusão

É preciso que o otimismo da vontade contido no ideal de desenvolvimento sustentável seja aliado ao ceticismo da razão, para usar a expressão de Romain Rolland (1866-1944) muitas vezes atribuída a Antonio Gramsci (1891-1937). E esse ceticismo da razão só está presente na economia ecológica, não na convencional.

A qualidade de vida que poderá ser desfrutada por futuras gerações da espécie humana depende de sua pegada ecológica. Principalmente dos modos de utilização de recursos naturais finitos e da acumulação dos efeitos prejudiciais das decorrentes formas de poluição ambiental. Por isso, algum dia a continuidade do desenvolvimento humano exigirá que a produção material se estabilize e depois decresça. Em vez de o desenvolvimento depender de crescimento econômico - como nos últimos dez mil anos - ele passará a requerer o inverso, o decrescimento. Ou, ao menos, daquilo que economistas clássicos chamaram de “condição estacionária”: situação na qual a melhoria da qualidade de vida não mais depende do aumento de tamanho do sistema econômico. Tese fundamental da economia

ecológica, que certamente deixou de parecer estranha ao leitor que acompanhou os argumentos expostos neste capítulo.

Desde que surgiram, as atividades econômicas sempre foram indissociáveis dos ecossistemas. A humanidade depende da capacidade dos ecossistemas de prover recursos e serviços e ainda absorver os resíduos. Por isso, discutir o prazo de validade da espécie humana na Terra requer atenção ao caráter metabólico de seu processo de desenvolvimento.

Ao considerar que a lei da entropia é algo muito específico e pouco significativo, a economia convencional ignora que o problema ecológico surge como uma falha no metabolismo socioambiental. Por prestar atenção às restrições ecossistêmicas ao metabolismo da humanidade, a economia ecológica não se ilude quanto à possibilidade do sistema econômico aumentar em tamanho indefinidamente.

Um dos maiores sucessos adaptativos do homem, e impulsionador do crescimento econômico desde a Revolução Industrial, foi a habilidade de extrair a baixíssima entropia contida nos combustíveis fósseis. Por outro lado, isso se revelou a principal causa do aquecimento global, fenômeno que, paradoxalmente, dificultará a adaptação da espécie. Muito antes de representarem um problema, os impactos ambientais exigirão restrições ao crescimento da atividade econômica.

Aquilo que hoje parece uma espécie de lei natural, o crescimento econômico medido pelo PIB, é radicalmente questionado pela economia ecológica. Nem sempre o crescimento é mais benéfico que custoso para a sociedade. A partir de certo ponto, o aumento da produção e do consumo pode ser antieconômico.

O fundamento central da economia ecológica não se refere, portanto, à “alocação de recursos”, ou à “repartição da renda”, as duas grandes problemáticas que praticamente absorveram todo o pensamento econômico ao longo de seus poucos séculos de existência. Esse fundamento se refere à terceira, que, ao contrário, foi inteiramente desprezada por todas as abordagens que hoje fazem parte da economia convencional: a questão da escala. Isto é, do tamanho físico da economia em relação ao ecossistema em que está inserida. Para a economia ecológica existe uma escala ótima além da qual o aumento físico do subsistema econômico passa a custar mais do que o benefício que pode trazer ao bem estar da humanidade.

Bibliografia

- BEARD, Randolph & LOZADA, Gabriel. (1999). *Economics, Entropy and the Environment: The extraordinary economics of Nicholas Georgescu-Roegen*. Edward Elgar.
- BOULDING, K. E. (1966). "The economics of the coming spaceship Earth", in: JARETT, H. (Ed.) *Environmental quality in a growing economy*. Resources for the Future/Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- BRANCO, Samuel Murgel. (1989) *Ecossistêmica - Uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente*, S.Paulo, Editora Edgard Blücher.
- BRANCO, Samuel Murgel. (2001) *Meio Ambiente & Biologia*, Editora Senac São Paulo, 2001.
- CARROLL, Sean M. Carroll. (2008) "As origens cósmicas da seta do tempo", *Scientific American Brasil*, 74, jun. 2008, pp. 28-35.
- DALY, Herman. (1973). *Towards a Steady State Economy*. San Francisco: W.H. Freeman & Co.
-
- DALY, Herman. (1997). *Beyond Growth*. San Francisco: Freeman.
- DALY, Herman E & TOWNSEND, Kenneth (orgs). (1993). *Valuing the Earth: Economics, Ecology, Ethics*. MIT Press.
- DALY, Herman E., & FARLEY, Joshua. (2004). *Ecological Economics: Principles and Applications*. Washington, D.C.: Island Press.
- DRAGAN, J.C. & DEMETRESCU, M.C. (1986). *Entropy and Bioeconomics: the new paradigm of Nicholas Georgescu-Roegen*. Nagard.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. (1966) *Analytical Economics*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- _____. (1969). "Process in Farming Versus Process in Manufacturing: A Problem of Balanced Development," in U. Papi and C. Nunn, (eds.) *Economic Problems of Agriculture in Industrial Societies*, London: MacMillan.

- _____. (1970). "The economics of production", Richard T Ely lecture. *American Economic Review*, Papers and Proceedings, 60 (2): 1-9.
- _____. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- _____. (1976). *Energy and Economic Myths*. New York: Pergamon Press.
- _____. (1977) "The Steady State and Ecological Salvation: A Thermodynamic analysis". *BioScience*, 27 (4): 266-270.
- _____. (1979). "Comments on Stiglitz and Daly", in: SMITH, Vincent Kerry, *Scarcity and Growth reconsidered*. John Hopkins University Press.
- _____. (1995). *La décroissance: Entropie, écologie, économie*. (tradução e apresentação de Jaques Grinevald e Ivo Rens) Paris: Éditions Sang de la terre. Disponível em: http://classiques.uqac.ca/contemporains/georgescu_roegen_nicolai/decroissance.html
- GOWDY, John & ERICKSON, Jon D. (2005). "The approach of ecological economics". *Cambridge Journal of Economics*, 29: 207-222.
- HODGSON, Geoffrey M. (1993). *Economics and Evolution: bringing life back into economics*. The University of Michigan Press.
- _____. (1999). *Evolution and Institutions: on evolutionary economics and the evolution of economics*. Edward Elgar.
- KUHN, Thomas S. (1995). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Ed. Perspectiva (Trad. Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira).
- LAWN, Philip. (1999). "On Georgescu-Roegen's contribution to ecological economics". *Ecological Economics*, 29: 5-8.
- _____. (2007). *Frontier issues in Ecological Economics*. Edward Elgar.
- MANKIW, Gregory. (2001). *Introdução à Economia: Princípios de Micro e Macroeconomia*. (2ªed.) Editora Elsevier.
- MAYUMI, Kozo. (2001). *The Origins of Ecological Economics: The Bioeconomics of Georgescu-Roegen*. London: Routledge.

- MAYUMI, Kozo & GOWDY, John. (1999). *Bioeconomics and sustainability: essays in honor of Nicholas Georgescu-Roegen*. Edward Elgar.
- MIROWSKI, Philip. (1988). *Against Mechanism: protecting economics from science*. Totowa, NJ: Rowman and Littlefield.
- _____. (1989). *More Heat than Light: Economics as Social Physics, Physics as Nature's Economics*. Cambridge University Press.
- MUELLER, Charles C. (2007). *Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente*. Brasília: Editora da UnB: Finatec.
- _____. (2008). "Sustainable Development: Conceptualizations and Measurement". *Revista de Economia Política*. 28 (2).
- NAREDO, José Manuel. (1987). "Que pueden hacer los economistas para ocuparse de los recursos naturales? Desde el Sistema Económico hacia la Economía de los Sistemas". *Pensamiento Iberoamericano*, 12: 61-74.
- NORDHAUS, W & TOBIN, J. (1972). "Is economic growth obsolete?". In: *Economic Growth*, The National Bureau of Economic Research Fiftieth Anniversary Colloquium, New York: Columbia University Press, pp. 1-80.
- PONTING, Clive. (1991). *A green history of the world*. London: Penguin Books.
- PRIGOGINE, Ilya. (1996). *O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza*. São Paulo: Ed. da UNESP (Trad. Roberto Leal Ferreira).
- ROMEIRO, Ademar R. (2003). "Economia ou Economia Política da Sustentabilidade", in: Peter May; Maria Cecília Lustosa & Valéria da Vinha (orgs.) *Economia do Meio Ambiente; Teoria e Prática*. Rio de Janeiro: EcoEco & Editora Campus, pp. 1-29.
- RUBI, J. Miguel (2008) "O longo braço da Segunda Lei", *Scientific American Brasil*, 79, dez. 2008, pp. 62-67
- SCHELLING, T.C. (1997). "The Cost of Combating Global Warming", *Foreign Affairs*, 76 (6): 54-66.

- SCHNEIDER, Eric & SAGAN, Dorion. (2005). *Into the cool: Energy flow, Thermodynamics and Life*. University of Chicago Press.
- SMITH, Vincent Kerry. (1979). *Scarcity and Growth reconsidered*. John Hopkins University Press.
- SOLOW, Robert. (1974). "The Economics of Resources or the Resources of Economics". *American Economic Review*, 64 (2): 1-14.
- _____. (1993). "An almost practical step toward sustainability". *Resources Policy*, 19 (3): 162-172.
- _____. (1997). "Georgescu vesus Solow/Stiglitz". *Ecological Economics*, 22 (3): 267-268.
- STIGLITZ, Joseph E. (1979). "A Neoclassical analysis of the Economics of natural resources", in: SMITH, Vincent Kerry. *Scarcity and Growth reconsidered*. John Hopkins University Press, pp. 36-66.
- _____. (1997). "Georgescu vesus Solow/Stiglitz". *Ecological Economics*, 22 (3) pp. 269-270.
- VEIGA, José Eli da. (2005). *Desenvolvimento Sustentável - O desafio do século XXI*. Rio de Janeiro: Editora Garamond.
- _____. (2007). *A Emergência Socioambiental*. São Paulo, Editora Senac.
- WORLD BANK. (2005). *Where is the wealth of Nations? Measuring Capital for the 21st Century*. Washington, DC, The World Bank, 2006.