

Economia, Entropia e Sustentabilidade: Abordagem e Visões de Futuro da *Economia* *da Sobrevivência*

Charles C. Mueller

Professor Titular do Departamento de Economia,
Universidade de Brasília

RESUMO

O artigo avalia corrente de pensamento - a da **economia da sobrevivência** -, que se caracteriza por forte compromisso com a preservação das oportunidades das gerações futuras, numa perspectiva temporal muito extensa. Inicia examinando o seu tratamento das inter-relações entre a economia e o meio ambiente, bem como os seus conceitos básicos, com ênfase para o de entropia. Mostra que a preocupação dos fundadores dessa corrente era principalmente com o esgotamento de recursos naturais, especialmente os do capital energético do nosso globo. Variantes recentes, entretanto, enfatizam problemas decorrentes da fragilidade do ecossistema global diante das crescentes perturbações antrópicas. Essas variantes consideram explicitamente funções ambientais vitais, notadamente a de preservar a resiliência de ecossistemas. Mostram que os danos ambientais causados por contínua expansão da escala do sistema econômico podem provocar alterações irreversíveis dessas funções.

PALAVRAS-CHAVE

sistema econômico e meio ambiente, entropia e sustentabilidade, resiliência, estabilidade do sistema global, capital energético

ABSTRACT

The paper evaluates the **economics of survival** - a school of thought that emphasizes the preservation of the opportunities of future generations on an extended time horizon. It examines the school's approach on the interactions between the economic system and the environment, and its main analytical concepts, particularly that of entropy. It shows that the concern of the school's founders was mainly with the consequences of a serious depletion of natural resources - particularly those of the earth's energy capital. Recently, however, emphasis was placed on problems stemming from the fragility of the global system in face of growing disturbances imposed by mankind's entropic acceleration. There are vital environmental functions, especially the preservation of ecosystem resiliency, and it is argued that a continued expansion of the scale of the economy may bring about irreversible damages to these fundamental functions.

KEY WORDS

economic system and environment, entropy and sustainability, resiliency, global system stability, energetic capital

INTRODUÇÃO

De acordo com a Comissão das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, o conceito de sustentabilidade envolve três condições básicas: (1) a condição paretiana de que seja assegurada, pelo menos, a manutenção do bem-estar dos que hoje vivem nas economias de mercado avançadas; (2) o requisito de se dar absoluta prioridade ao atendimento das “*necessidades básicas dos pobres de todo o mundo*”; e (3) a condição fundamental de que tudo isso seja feito “*sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas necessidades.*” (CMMD, 1987, p. 43) É razoável supor que esses três aspectos devam ser objeto de atenção de qualquer corrente de pensamento da economia ambiental.

Assim, a economia ambiental neoclássica, que enfatiza os problemas associados à degradação ambiental decorrentes do funcionamento das economias de mercado avançadas, ressalta a condição (1), acima.¹ Por sua vez, algumas análises focalizam os problemas ambientais causados pelos padrões de desenvolvimento dos países pobres no presente que consideram impostos pelo Primeiro Mundo; ressaltam, pois, o segundo aspecto. (MUELLER, 1994) E outras vertentes enfatizam a necessidade de assegurar que as ações do presente não reduzam as oportunidades das gerações futuras de atender às suas necessidades, destacando o aspecto (3).

O presente trabalho examina as contribuições de corrente de pensamento nesta última linha. Trata-se de um ensaio em história do pensamento da economia do meio ambiente, que avalia escola que, por razões que se tornarão óbvias, denominamos **economia da sobrevivência**. Diferentemente do *mainstream* da economia ambiental, a **economia da sobrevivência** longe está de constituir corrente de pensamento organizada e influente; na verdade, o termo ‘escola de pensamento’ é usado aqui de forma um tanto solta, para significar um conjunto de autores e grupos de pesquisa que dão absoluta ênfase à preservação das oportunidades das gerações futuras, e cuja base analítica se apóia, com destaque, na segunda lei da termodinâmica - a lei da entropia.

Existem, essencialmente, duas visões de futuro: a dos que acreditam em um porvir de crescente e ilimitada prosperidade, apoiado nos avanços da ciência, da tecnologia e em tendência a rápidos ajustes de organização social; e a daqueles que se preocupam com a fragilidade dos sistemas ambientais e sociais, em face

1 Conforme demonstrado em MUELLER (1996).

das elevadas taxas de crescimento da produção e, especialmente, em partes do nosso globo, da população, e com a possibilidade da ocorrência de efeitos indesejáveis da tecnologia. (NORGAARD, 1989) Os economistas ambientais neoclássicos se incluem, predominantemente, dentre os que detêm a primeira dessas visões. A **economia da sobrevivência** argumenta, porém, que se forem mantidos os atuais padrões de expansão da economia global, a humanidade enfrentará, não só rápida depleção de recursos naturais vitais, como extensa destruição de espécies e perigosa acumulação no ecossistema de dejetos tóxicos. Radicais mudanças nas práticas correntes seriam, pois, fundamentais para garantir a sobrevivência da humanidade num horizonte temporal mais longo.

O trabalho examina a estrutura conceitual e a visão de futuro da **economia da sobrevivência**. A seção 1 discute aspectos da hipótese ambiental do *mainstream* da economia, rejeitados pela **economia da sobrevivência**. A seção 2 apresenta ilustração gráfica que ressalta as inter-relações entre a economia e o meio ambiente na visão dessa escola. A seção 3 esboça a estrutura conceitual da **economia da sobrevivência**, com ênfase no conceito de entropia. A seção 4 avalia a visão de futuro dessa escola, contrastando a perspectiva de seus fundadores com a de colaboradores mais recentes. A seção 5 é dedicada aos comentários conclusivos.

1. A ECONOMIA DA SOBREVIVÊNCIA E AS HIPÓTESES AMBIENTAIS DA ANÁLISE ECONÔMICA

Até recentemente a análise econômica tendia a considerar a economia como um sistema sem inter-relações significantes com o seu meio externo. Isso mudou no final da década de 1960 quando, pela pressão dos acontecimentos, começou a evoluir a economia ambiental neoclássica (ver AYRES & KNEESE, 1969). Quase simultaneamente apareceram as primeiras contribuições da **economia da sobrevivência** (por exemplo, GEORGESCU-ROEGEN, 1966 e BOULDING, 1966).

Em linha com sua ênfase no **muito longo prazo** a **economia da sobrevivência** se caracteriza por focalizar de forma explícita, e sem hipóteses excessivamente simplificadoras, as inter-relações entre o sistema econômico e o seu meio externo. Desde o início assumiu postura crítica em relação ao *'mainstream'* da análise econômica. Georgescu-Roegen (1975), por exemplo, recrimina a insistência deste em se apoiar em epistemologia mecanicista - "*um dogma banido até pela física.*" O *'mainstream'* considera o processo econômico "*um análogo mecânico consistindo - como acontece com todos os análogos mecânicos - de um princípio de conservação e*

uma regra de maximização.” Uma ilustração está “no gráfico que aparece em quase todos os manuais de introdução à economia, retratando o processo econômico como um fluxo auto-sustentado e circular entre a ‘produção’ e o ‘consumo’.” Não se deve ignorar o seguinte ponto crucial: o “processo econômico não é um processo isolado e autocontido. Ele não pode persistir sem um intercâmbio contínuo que altera o meio ambiente de forma cumulativa, e sem ser, por sua vez, influenciado por tais alterações.” (p. 348)

Tendo por base as hipóteses ambientais adotadas pela análise econômica até recentemente, Perrings (1987, p. 4-7) encontrou duas categorias de teorias: aquelas apoiadas em **hipótese ambiental fraca**, e as com **hipótese ambiental forte**. A economia política clássica é um exemplo de teoria do primeiro grupo. Os economistas clássicos estabeleceram nítida inter-relação entre a economia e o meio ambiente, mas - com as exceções de Malthus e de David Ricardo - consideravam que o meio ambiente restringiria apenas ocasionalmente o funcionamento do sistema econômico. Por sua vez, os modelos neoclássicos walrasianos e os modelos de crescimento à Solow são exemplos de teorias com **hipótese ambiental forte**. Para estas, é como se, na produção de bens e serviços, os recursos naturais emanassem nas quantidades necessárias do próprio sistema econômico, e este pudesse assimilar volumes ilimitados de dejetos. Essas teorias tratam o sistema econômico como um sistema autocontido no qual “*todos os processos são controlados pelos agentes econômicos respondendo ao sistema de preços.*” (PERRINGS, 1987, p. 6)

Isso mudou com o desenvolvimento, no final da década de 1960, da economia ambiental neoclássica. Com efeito, o trabalho pioneiro de Ayres e Kneese (1969) passou a considerar explicitamente o sistema econômico em interação com o meio ambiente, examinando as implicações de uma economia que extrai recursos naturais do meio ambiente, e que deposita, neste, resíduos e dejetos. Essa visão se incorporou à economia ambiental neoclássica.

Como se situa esta última em termos da classificação de Perrings? Um exame detido da sua extensa contribuição revela que, a despeito das inovações apontadas no parágrafo anterior, essa corrente de pensamento se apóia em **hipótese ambiental fraca atenuada**. Ou seja, a economia ambiental neoclássica tende a visualizar o sistema econômico inserido em um meio externo essencialmente passivo, que aceita sem maior comoção diferentes graus de degradação. A degradação afeta, antes de mais nada, os agentes econômicos que, com base em suas preferências (funções-utilidade) e custos, decidem o grau de degradação apropriado. O meio ambiente é um espaço neutro, ao qual se pode poluir em maior ou menor grau, com reações previsíveis e reversíveis. E, embora a “incerteza” tenha se incorporado à análise, ficam de fora incertezas cruciais de

cunho ambiental, que não podem ser traduzidas em probabilidades. E uma consequência da adoção da **hipótese ambiental fraca atenuada** está no flagrante otimismo das avaliações apoiadas nos seus esquemas analíticos.²

A visão analítica da **economia da sobrevivência** é completamente diferente. Para essa corrente de pensamento é fundamental que se considere, explicitamente, não só as inter-relações entre o sistema econômico e o meio ambiente, como também a natureza do intercâmbio entre os dois sistemas, com ênfase em dimensões físicas e não em fluxos monetários. Este trabalho dá ênfase à hipótese ambiental da **economia da sobrevivência**.

2. O PROCESSO ECONÓMICO E O MEIO AMBIENTE PARA A ECONOMIA DA SOBREVIVÊNCIA

Esta seção discute representação gráfica desenvolvida por Georgescu-Roegen,³ que captura a essência das inter-relações entre o sistema econômico e o meio ambiente na visão da **economia da sobrevivência**. O autor supõe uma economia funcionando em estado estacionário, com uma dada dotação de fatores de fundo (terra ricardiana, mão-de-obra e capital). No intervalo de tempo dentro do qual o processo produtivo se desenrola, esses fatores fornecem serviços para transformar fatores de fluxo (insumos da natureza, insumos correntes e fluxos de manutenção) em produtos. (GEORGESCU-ROEGEN, 1969) O processo produtivo requer a extração de insumos da natureza, e origina resíduos e dejetos que são despejados no meio ambiente.

O processo é representado pela matriz geral de fluxos de circulação da matéria e da energia da Figura 1. As relações entre o processo econômico e o meio ambiente descritas pela matriz compreendem cinco categorias fundamentais:

- Recursos extraídos pelo sistema econômico do meio ambiente:

eE = fluxo de energia bruta, originário do meio ambiente;

eM = fluxo de matéria bruta, originário do meio ambiente.

2 Para discussão do otimismo recente da economia ambiental neoclássica, ver MUELLER (1996).

3 A análise gráfica é de GEORGESCU-ROEGEN (1977). A base analítica está em GEORGESCU-ROEGEN (1971, cap. IX).

- Categorias devolvidas pelo processo econômico ao meio ambiente:

dE = energia dissipada;

dM = matéria dissipada;

W = dejetos; resíduos não aproveitados (não reciclados).⁴

O sistema econômico, por sua vez, inclui os seguintes setores:

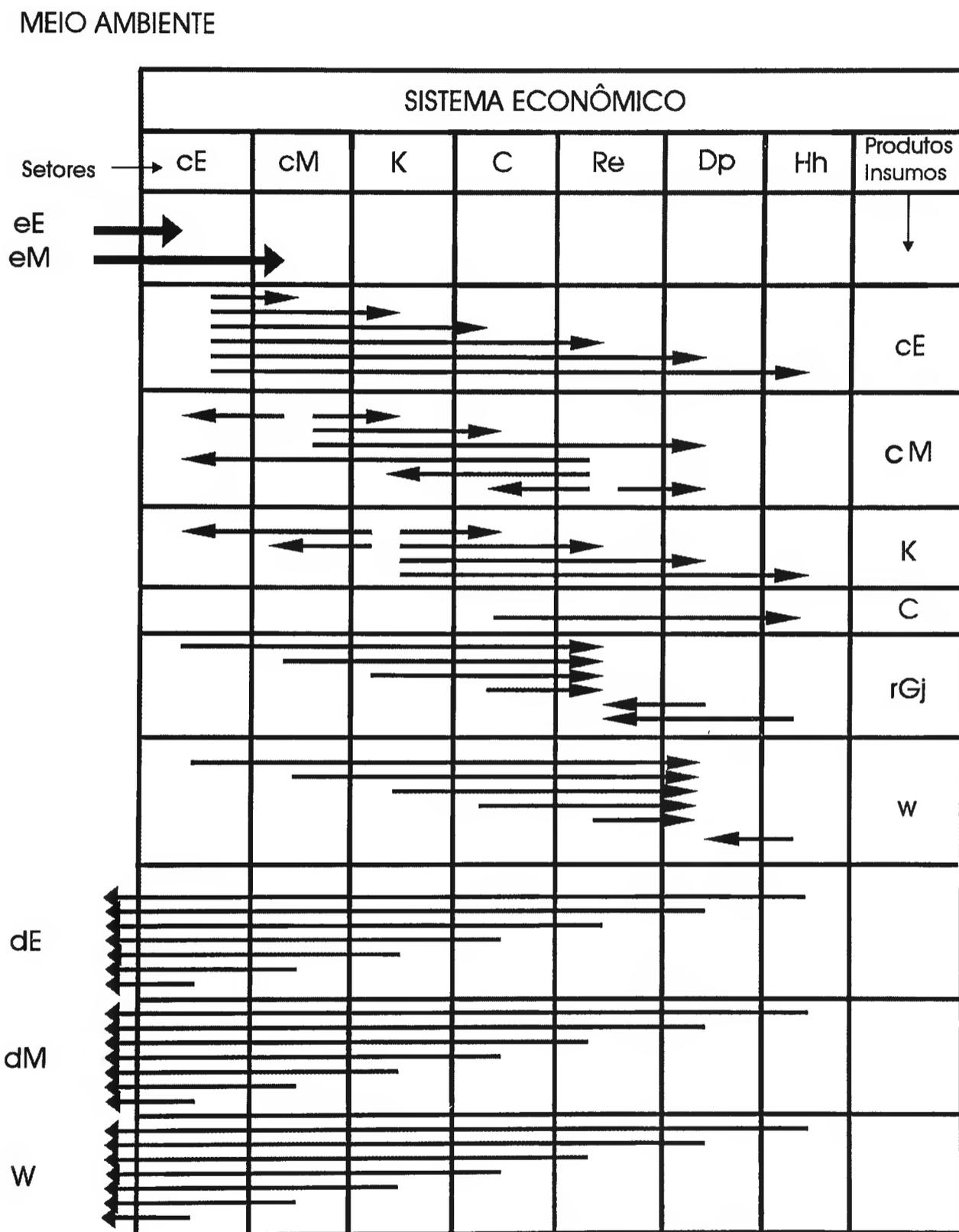
- Setores cE e cM , que extraem, respectivamente, energia bruta (eE) e matéria bruta (eM) do meio ambiente e os transformam em energia controlada (cE) e matéria controlada (cM), aptas a serem usadas nos processos de produção e de consumo. Tais setores fornecem esses elementos básicos a todos os processos da economia.
- Os demais setores produtivos são:
 - K , o setor que produz bens de capital;
 - C , o setor que produz bens e serviços de consumo.
 - Re , o setor responsável pela reciclagem.
 - Dp , o setor despoluidor.
- Hh é o setor consumidor (as famílias; os indivíduos). Esse setor transforma bens e serviços em satisfação e em resíduos e dejetos.

Brevemente, o processo se inicia com a extração do meio ambiente, da energia bruta e da matéria bruta (eE e eM) por setores que as transformam em energia e matéria controladas. Como se pode ver na Figura 1, cE e cM são fornecidos pelos setores extratores e processadores a todos os setores produtivos da economia (inclusive a eles mesmos); e a energia também é fornecida ao setor consumidor. E observe-se que cM também inclui matéria reciclada, fornecida por Re , o setor reciclador.

Por sua vez, o setor de bens de capital usa cE e cM para produzir K , para si próprio e para os demais setores; produz, inclusive, para Hh (residências; bens duráveis). E o setor de bens de consumo usa esses elementos para produzir C que, por definição, é totalmente absorvido por Hh , o setor consumidor.

4 A diferença entre matéria dissipada, dM , e os resíduos e dejetos, W , é que dM compreende o desgaste de matéria ocasionado pela fricção, e a segunda é composta de resíduos não aproveitáveis mais volumosos, resultantes dos processos de produção e de consumo. A borracha dos pneus que fica sobre a superfície das estradas, o metal desgastado do cilindro e do pistão de um motor a explosão são matéria dissipada. Parte significativa do lixo urbano se inclui na categoria de resíduos.

FIGURA 1 - ECONOMIA E MEIO AMBIENTE: MATRIZ GERAL DE FLUXOS DE MATÉRIA E ENERGIA



Note-se que todos os setores fornecem rG_j , resíduos recicláveis a Re , o setor reciclador. Semelhantemente, o setor despoluidor, Dp , efetua a despoluição a partir de resíduos (w), emanados pelos demais setores, inclusive o consumidor (dejetos humanos, emanações de veículos e lixo). A importância e o peso de Re e Dp dependem de fatores técnico-econômicos (das possibilidades e dos custos de reciclar e despoluir, do preço de materiais reciclados; do ônus que a sociedade impõe sobre a poluição e a degradação ambiental - taxas pigouvianas, multas) e legal-institucional, que estimulam, exigem e condicionam a reciclagem e a despoluição.

Como se pode observar na parte de baixo do diagrama, todos os setores emanam ao meio ambiente energia dissipada (dE), matéria dissipada (dM) e rejeitos (w). Alguns emanam mais e outros menos, mas setor algum nem mesmo os envolvidos na reciclagem e na despoluição - está isento de “contribuir” para a degradação do meio ambiente.

Ceteris paribus, os impactos da economia sobre o meio ambiente dependem da sua escala - da magnitude da sua população e do seu produto *per capita* -, da sua composição da produção, das tecnologias usadas no processo produtivo, e dos condicionantes e estímulos que afetam o comportamento social em relação à degradação ambiental. Além disso, as taxas de crescimento demográfico e do produto real *per capita* da economia, bem como as mudanças tecnológicas e as políticas ambientais determinam a evolução, no tempo, desses impactos. Pode-se, evidentemente, atuar para amenizar esses impactos. Esse é o objetivo dos programas de racionalização do uso da energia (e de outros recursos naturais), e dos estímulos à “despoluição” e à reciclagem. Isso também ocorre com o desenvolvimento de tecnologias que degradam menos o meio ambiente. Mas sociedade alguma, mesmo a mais “ambientalmente correta”, pode funcionar sem extrair matéria e energia do meio ambiente e sem devolver a este energia dissipada, matéria degradada e dissipada.

Um exame superficial da Figura 1 pode levar a uma constatação bizarra: a de que, em essência, tudo que o processo econômico faz é extrair recursos nobres da natureza para produzir energia dissipada e dejetos. Evidentemente, é muito mais amplo o escopo do sistema econômico. Conforme ressalta Georgescu-Roegen (1971, p. 282), o “*verdadeiro produto do processo econômico não é um fluxo físico de resíduos, e sim um fluxo de gozo da vida (enjoyment of life). (...) Se não reconhecermos esse fato e se não introduzirmos no nosso arsenal analítico o conceito de gozo da vida, não estaremos no mundo econômico. E nem poderemos descobrir a fonte real do valor econômico, o valor que a vida tem para todo o ser vivo.*”

Como veremos, a **economia da sobrevivência** se apóia, de forma importante, em leis da física. Qual o sentido disso se o conceito central da ciência econômica - o de gozo da vida - "*não corresponde a atributos da matéria e nem pode ser expresso em termos de variáveis físicas?*" (GEORGESCU-ROEGEN, 1971, p. 282) Considerando essa questão, temos que reconhecer que o gozo da vida requer bens e serviços, para a produção dos quais são necessárias matéria e energia; e que estas são degradadas pelo processo econômico. Sabemos que a "*matéria-energia terrestres, bem como a radiação solar que chega ao nosso globo, degradariam estando a vida presente ou não*" (GEORGESCU-ROEGEN, 1977, p. 309), mas a vida está presente e, de todas as formas de vida, a espécie humana é, de longe, a que mais danifica o meio ambiente, a que menos espaço deixa às demais formas de vida, e a que, com sua atuação, mais prejudica as oportunidades futuras dos membros de sua própria espécie.

O parágrafo acima esboça a essência das questões tratadas pela **economia da sobrevivência**; entretanto, a compreensão de como essa escola analisa as inter-relações entre a economia e meio ambiente requer muito mais. A próxima seção avança nesse sentido, discutindo o papel da lei da entropia para **economia da sobrevivência**.

3. *A ECONOMIA DA SOBREVIVÊNCIA E AS LEIS DA TERMODINÂMICA*

As leis da termodinâmica passaram a despertar o interesse de economistas na década de 1970, quando a crise do petróleo instilou, na opinião pública, o receio de que estivesse terminando a fase de rápido crescimento econômico apoiado na disponibilidade de energia não renovável barata. Mas os principais autores da **economia da sobrevivência** incorporaram essa lei à análise antes da crise energética ter se configurado.

Começando durante a primeira revolução industrial em fins do século XVIII, a sociedade humana ingressou em uma era de crescimento exponencial intensivo em energia, que culminou com o estágio atual, em que se consome muito mais energia que a que pode ser captada do fluxo energético recebido do sol. Como se sabe, a radiação solar fornece continuamente ao nosso globo uma quantidade enorme de energia da qual todas as formas de vida, inclusive a humana, aproveitam apenas uma pequena parte. Na verdade, como a parcela da energia solar que podemos, mesmo com a mais avançada tecnologia, capturar é muito limitada (DAVIS, 1991), o excepcional crescimento econômico dos dois últimos séculos só foi possível graças à descoberta de formas de empregar o patrimônio de energia acumulado no nosso globo - a energia dos combustíveis fósseis.

A preocupação dos primeiros autores da **economia da sobrevivência** teve a ver especialmente com a finitude dessa base de recursos energéticos. Seu temor era que a escassez de recursos energéticos básicos pudesse vir a se tornar aguda, com impactos negativos sobre as perspectivas futuras da humanidade. Já os autores mais recentes dessa escola vêm se preocupando com os efeitos da degradação causada por nossa prodigalidade no uso desses recursos. Mas as análises de ambos os grupos tomam emprestados conceitos da física - em especial, as duas primeiras leis da termodinâmica.

3.1 As Duas Primeiras Leis da Termodinâmica

O físico alemão Rudolf Clausius, um dos fundadores da termodinâmica, formulou da seguinte maneira as suas duas primeiras leis:

“A energia do universo é constante (1ª lei).

No universo, a entropia se move continuamente no sentido de um máximo (2ª lei).”⁵

Pela primeira lei da termodinâmica, as quantidades totais de energia e de matéria do universo são constantes; nem a matéria nem a energia podem ser criadas ou destruídas. Essa lei - também conhecida como a lei da conservação da energia e da matéria - é peça básica da economia ambiental neoclássica (ver AYRES & KNEESE, 1969). Contudo, conforme ressaltou Georgescu-Roegen (1975, p. 351), *“(c)om apenas essa lei estamos ainda no âmbito da mecânica e não no domínio dos fenômenos reais, que certamente incluem o processo econômico.”* A segunda lei - a lei da entropia - é essencial para se ir além da mecânica.

Georgescu-Roegen foi pioneiro na análise rigorosa do papel das duas primeiras leis da termodinâmica para a economia, e os outros autores da **economia da sobrevivência** vêm se valendo de sua análise.⁶ O autor não nega a complexidade da lei da entropia; para ele, entretanto, *“isso não nos impede de contar a história*

5 RUDOLF CLAUSIUS, *Ann. Phys.*, v. 125, p. 353, 1865, *Apud* PRIGOGINE E STENGERS (1984, p. 119).

6 Ver, os principais trabalhos do autor na bibliografia; merece ênfase GEORGESCU-ROEGEN (1971), mas ver, também, GEORGESCU-ROEGEN (1975, 1977 e 1986). O reconhecimento de outros autores dessa corrente de pensamento é ilustrado na seguinte frase de Boulding: *“O conceito de entropia teve impacto muito pequeno sobre a economia até o surgimento do notável livro de Nicholas Georgescu-Roegen, A Lei da Entropia e o Processo Econômico.”* (BOULDING, 1980, p. 184). A profundidade e o rigor da análise de Georgescu-Roegen são indisputados.

em termos simples.” (GEORGESCU-ROEGEN, 1977, p. 294) Para tal, temos que ter em mente que, embora constante, a energia do universo está sempre passando, de forma irreversível e irrevogável, da condição de **disponível** para realizar trabalho, a **não disponível** para essa finalidade. As quantidades de energia **disponível** e **não disponível** não são constantes, pois ocorre contínua degradação da energia, do primeiro para o segundo desses estados. Para a termodinâmica a energia **disponível** para a realização de trabalho (também conhecida como energia livre), é energia de **baixa entropia**; e de **alta entropia** é a energia não disponível para esse fim (a energia presa). O processo de degradação contínua da energia, do primeiro para o segundo desses estados, acontece independentemente da ação humana, embora, no sistema fechado do nosso globo, estejamos acelerando - e muito - a degradação entrópica.

Em outros termos, de forma semelhante aos conceitos de **energia**, de **força**, de **distância**, que oferecem dificuldades de representação analítica até para os físicos, a entropia tem um significado fenomenológico básico de interesse, tanto para entendidos como para leigos. A *“história é relativamente simples: todas as formas de energia são transformadas em calor e o calor acaba se dissipando; (...) Para ser disponível, é necessário que a energia esteja distribuída de forma desigual; a energia totalmente dissipada [que se caracteriza por estar uniformemente distribuída] não é mais disponível”*, não podendo gerar trabalho.⁷ O processo de dissipação de energia é governado pela lei da entropia.

3.2 A Lei da Entropia em Sistemas Não Isolados

Embora a formulação de von Clausius da lei da entropia se refira ao universo - um sistema isolado que contém toda a energia -, a lei é de interesse para a análise econômica. Conforme ressaltou Georgescu-Roegen (1975, p. 352), a termodinâmica tem natureza claramente antropomórfica; só a energia de baixa entropia é útil para a economia, porque só ela pode gerar trabalho.

Qual, mais precisamente, é o sentido da lei da entropia para os sistemas abertos e fechados - os sistemas que mais interessam ao estudo da economia? Essa questão foi tratada por Ilya Prigogine, em 1945. Denotando entropia por S ,

7 GEORGESCU-ROEGEN (1975, p. 352). O caráter de não disponível da energia de alta entropia é ilustrado pelo oceano; este contém uma quantidade enorme de energia dissipada e, portanto, uniformemente distribuída e sem possibilidade de uso para o homem. Um navio só navega sobre esse enorme repositório de energia de alta entropia se tiver energia de outra fonte, e de baixa entropia, para se locomover.

expressou a variação da entropia, dS , ocorrida ao longo de um intervalo curto dt em um sistema, como a soma algébrica de dois termos: um termo $d_e S$, representando o intercâmbio de entropia do sistema com o seu meio externo, e um termo de ‘produção’, $d_i S$, resultante de processos irreversíveis que ocorrem dentro do sistema.⁸ Como sistemas abertos e fechados têm, em um intervalo de tempo, troca líquida positiva ou negativa com seus meios externos, $d_e S$ pode ter qualquer sinal. A lei da entropia, entretanto, refere-se apenas a $d_i S$; ela afirma que esse termo é sempre positivo. Em um sistema isolado $d_e S$ não existe por definição, e dS é sempre positivo; a entropia sempre aumenta. Mas em sistemas fechados ou abertos, o sinal de dS depende das magnitudes absolutas de $d_e S$ e $d_i S$. E este último termo é, sempre, positivo, exceto no estado de equilíbrio de máxima entropia [a morte térmica], em que toda energia é não disponível; então $dS = 0$.

Para ressaltar a natureza dessa decomposição da variação de entropia em duas partes, Prigogine e Stengers (1984, p. 118-119) aplicaram a formulação à energia. Denotando energia por E , e a variação ocorrida ao longo de um curto intervalo de tempo, dt , por dE , argumentam que “*dE também é igual à soma de um termo $d_e E$, causado pelo intercâmbio de energia, com um termo $d_i E$, à ‘produção interna’ de energia [a energia extraída do capital energético do sistema]. Contudo, o princípio da conservação da energia estabelece que a energia nunca é ‘produzida’, mas apenas transferida de um lugar a outro. A variação da energia, dE , se reduz, pois, a $d_e E$.*” E $d_i E$ tem a ver com a mudança qualitativa da energia, decorrente da lei da entropia. Ou seja, à ‘produção’ (a extração e uso) de energia dentro do sistema, $d_i E$, corresponde um aumento de entropia, $d_i S$, que é sempre positivo. “*A ‘produção’ de entropia expressa, pois, a ocorrência de mudança irreversível dentro do sistema.*”

O processo de degradação da energia no nosso globo - um sistema fechado - recebe atenção especial da **economia da sobrevivência**. Nas palavras de Georgescu-Roegen (1971, p. 6), “*se o processo entrópico não fosse irrevogável, ou seja, se a energia de uma pedação de carvão ou de uma dada quantidade de urânio pudesse ser usada seguidas vezes não haveria escassez na vida do homem.*” Mas sabemos que, uma vez usada, essa energia se dissipa irrevogavelmente; e, para a humanidade, a energia dissipada de nada vale. Pode-se, pois, afirmar que está no processo entrópico a raiz da escassez.

8 Essa decomposição da variação de entropia em dois termos é de PRIGOGINE (1947), na tese que o autor apresentou, em 1945, à Faculté des Sciences de l’Université Libre de Bruxelles. (Apud PRIGOGINE & STENGERS, 1984, nota 18, cap. IV).

Georgescu-Roegen aponta algumas lições fundamentais da lei da entropia. A primeira é a de que fenômenos importantes da vida real se movem em direção definida e envolvem mudanças qualitativas, muitas das quais irreversíveis. Por essa razão, a análise desses fenômenos deve evitar epistemologia mecanicista, que pressupõe reversibilidade. O autor lamenta que a economia convencional venha resistindo aceitar esse ponto crucial.

Uma outra lição está na **natureza antropomórfica** da lei da entropia. Para a humanidade a energia de baixa entropia - tanto a que se encontra acumulada no nosso globo como a que aqui chega - é **disponível** no sentido de que pode ser convertida em trabalho, enquanto a energia de alta entropia não o pode. A diferenciação entre as duas qualidades da energia é relevante para a humanidade porque só podemos usar a **energia disponível**, ou de **baixa entropia**. Conforme ressalta Lord Kelvin, um dos fundadores da termodinâmica, a energia de alta entropia *“se encontra irrevogavelmente perdida para o homem (...) embora não tenha sido destruída.”*⁹

Ainda um outro atributo antropomórfico da lei da entropia está no significado do tempo para a mesma. *“Quando dizemos que em um sistema isolado a energia não disponível aumenta por si só - ou seja, que a energia disponível tende a zero - estamos necessariamente especificando que o “aumento” e a “diminuição” se referem à direção do tempo como percebido pela consciência humana.”* (GEORGESCU-ROEGEN, 1986, p. 4)

Quais as implicações, para a humanidade, do declínio inexorável da energia disponível? O estudo da termodinâmica surgiu, no começo do século XVIII, de observações de Sadi Carnot sobre o comportamento de máquinas térmicas. A extensão das suas leis ao cosmo foi feita por William Thompson, em 1852. Esse autor comparou o mundo a uma máquina na qual o calor é convertido em movimento, acompanhado de resíduos e de dissipação irreversível. Mas as diferenças de temperatura que tornam possíveis esse processo diminuem à medida que, ao longo do tempo, uma conversão vai se sucedendo a outra. A tendência, portanto, seria no sentido de um estado final de equilíbrio térmico (ver PRIGOGINE & STENGERS, 1984, p. 115-16). A morte térmica, porém, não é ameaça à humanidade ou a outras formas de vida; a lei da entropia operava muito antes de surgir a vida no nosso globo, e continuará a operar por muito tempo depois. Apesar disso, a lei tem importantes implicações para nós.

9 *Apud* GEORGESCU-ROEGEN (1980, p. 262).

3.3 Entropia da Matéria

Georgescu-Roegen começou focalizando a entropia da energia;¹⁰ então sua análise se apoiava no que chamou de termodinâmica ‘limpa’. Em trabalhos mais recentes, porém, passou a analisar as implicações do fato de que, para se converter em trabalho, a energia necessita uma base de suporte de matéria, e de que a matéria também está sujeita à dissipação irrevogável.¹¹ Segundo o autor, a termodinâmica faz abstração da entropia da matéria da mesma forma que a física faz abstração do atrito na teoria do plano inclinado. Entretanto, é óbvio “que a matéria também existe em dois estágios, o de disponível, e o de não disponível, e que, como ocorre com a energia, a matéria se degrada contínua e irrevogavelmente, passando de disponível a não disponível. Assim como a energia, a matéria se dissipa e se torna pó, conforme ilustram a ferrugem e o desgaste dos motores e dos pneus dos automóveis.” (GEORGESCU-ROEGEN, 1986, p. 7)

Conforme ressalta Georgescu-Roegen (1986), a dissipação da matéria ocorre por si só, mas, como acontece com a energia, a sociedade humana acelera essa dissipação. O autor critica o otimismo que prevalece em relação às possibilidades da reciclagem na eliminação de restrições impostas pela entropia da matéria. Na verdade, “O que se pode reciclar (...) é matéria ainda disponível mas que não é mais útil para nós: vidro quebrado, jornais velhos, motores desgastados, etc.” ...”A conclusão é imediata: assim como o trabalho não pode se manter sem que seja continuamente alimentado com energia disponível, também necessita uma contínua oferta de matéria disponível. O ponto é que tanto a energia disponível como a matéria disponível são irrevogavelmente degradados...” (GEORGESCU-ROEGEN, 1986, p. 7)

3.4 Objeções Neoclássicas à Relevância da Lei da Entropia

Georgescu-Roegen e os demais autores da economia da sobrevivência insistem no papel fundamental da entropia para o estudo da economia; para eles, está na lei da entropia a raiz da escassez. Esse argumento não tem, entretanto, sido aceito pelo *mainstream* da análise econômica. Um exemplo representativo está no trabalho de Young (1991). Avaliando a relevância das leis da termodinâmica

10 Cedo em sua análise, porém, o autor já indicava a existência da entropia da matéria. Ver GEORGESCU-ROEGEN (1971, p. 13), por exemplo, onde argumenta que “a estrutura material de qualquer ser vivo precisa obedecer (...) às leis da termodinâmica...”.

11 Ver GEORGESCU-ROEGEN (1975, p. 352; 1977, p. 300-304; e 1986, p. 6-7).

para a economia, esse autor concluiu que, uma vez que a lei da entropia se refere a um sistema isolado e não a um sistema aberto como o sistema econômico, a mesma “*não apresenta especial relevância à economia, no que tange à escassez no longo prazo de recursos.*”¹² Para Young, a economia ambiental deve se concentrar na lei da conservação da matéria e da energia (a primeira lei) e nos aspectos relacionados ao funcionamento de mercados, evitando confundir a análise da escassez com um conceito da física que - para o autor - não é adequado ao tratamento do problema.

O problema em avaliações como esta é que se apóiam em percepção errônea do papel da lei da entropia. Ninguém nega que a lei foi concebida para sistemas isolados, mas há algum tempo Prigogine estendeu a abrangência da lei a sistemas abertos e fechados. Nesse contexto, é verdade que “*os sistemas da nossa experiência são todos, ou fechados (caso em que há intercâmbio de energia, mas não de matéria, com o meio externo do sistema), ou abertos (caso em que existe intercâmbio, tanto de energia como de matéria com o meio externo). Nesses dois casos a entropia pode, evidentemente, experimentar redução.*” (GEORGESCU-ROEGEN, 1986, p. 4) Mas isso não nos permite afirmar que no atual sistema econômico - que é um sistema aberto inserido no sistema fechado de nosso globo - a entropia pode diminuir, como a crítica de Young parece sugerir.

Para demonstrar esse fato, Georgescu-Roegen (1986, p. 5) adaptou a formulação de Prigogine, esboçada na seção anterior. “*A idéia básica é elementar. A mudança de entropia de um sistema aberto se reduz a dois componentes:*

$$\Delta S = \Delta S_e + \Delta S_i,$$

onde $\Delta S_i > 0$ é a entropia ‘produzida’ dentro do sistema por processos irreversíveis e ΔS_e é a troca líquida de entropia com o meio externo do sistema. E, a despeito do fato de que, pela lei da entropia, o termo ΔS_i é sempre positivo, ΔS pode ter qualquer sinal, dependendo das magnitudes de ΔS_i e de ΔS_e . Assim, se a ‘importação’ de baixa entropia do sistema for maior que a entropia por ele ‘produzida’, $\Delta S < 0$; a entropia do sistema diminui.

Tomando em consideração a economia contemporânea, entretanto, não podemos perder de vista o fato de que a sua ‘produção’ de entropia em um dado intervalo de tempo, ΔS_i , é muito maior que o máximo que poderia manter a partir do fluxo, ΔS_e , de energia acessível de baixa entropia, fornecido direta ou

12 Ver YOUNG (1991, especialmente p. 178-179). Esta é uma das resenhas críticas neoclássicas mais sérias; há algumas que beiram o leviano. Ver, por exemplo, BURNESSE *et alii* (1980).

indiretamente pelo sol. O fluxo de energia solar é de importância fundamental para a manutenção da vida no nosso planeta, mas apenas uma pequena parte do mesmo pode ser captado para uso pela economia industrial moderna.¹³ E a diferença vem sendo coberta a partir do ainda considerável estoque de energia de baixa entropia do nosso globo - o 'capital' de energia, na forma de combustíveis fósseis (o carvão, o petróleo e o gás). É esse 'capital energético' que torna possível a enorme entropia atualmente gerada pelo sistema econômico. Mas a taxa da depleção desse 'capital' é muito elevada e vem aumentando. Dado que o mesmo não pode ser renovado, essa depleção diminui acentuadamente o nosso 'capital energético'; aumenta, assim, a escassez.

No atual sistema econômico, portanto, ΔS_i é muito maior que a magnitude absoluta de ΔS_e , e o sinal de ΔS é necessariamente positivo. Em um dado intervalo de tempo, a energia de baixa entropia fornecida pelo sol é suplementada a partir do 'capital' de energia do nosso globo; em conjunto, essas duas fontes de energia de baixa entropia tornam possível um formidável aumento líquido de entropia. Pode-se imaginar, entretanto, uma sociedade primitiva, na qual o uso da 'renda' energética fornecida pelo sol esteja bem abaixo do potencial, e que use muito pouco da energia do 'capital' energético da terra. Nesse caso, ΔS teria sinal negativo; como contrapartida, o capital energético estaria aumentando acumulando-se, por exemplo, em uma floresta em expansão. O ponto ressaltado pela **economia da sobrevivência**, entretanto, é que esse caso hipotético não pode servir de prova de que a sociedade moderna pode gerar entropia líquida negativa e que, portanto, a disponibilidade de energia de baixa entropia jamais constrangerá a expansão da economia, como alguns parecem acreditar. É evidente, pois, a relação entre entropia e escassez.

Num comentário ao trabalho de Young, Daly (1992) exprime bem a posição da **economia da sobrevivência** no debate entropia-escassez. Conforme resalta esse autor, a escassez de recursos "*resulta da combinação da primeira e da segunda leis da termodinâmica, e não de uma delas isoladamente. Se as fontes [de recursos de baixa entropia] e a capacidade de assimilação [da elevada entropia gerada pelo sistema econômico] fossem infinitas (ou pudessem ser criadas ou destruídas), não teria consequência o fato de que os fluxos entre elas é entrópico e irreversível; se, sendo finitas as fontes e a capacidade de assimilação, não existisse a lei da entropia, poderíamos*

13 Alguém pode alegar que o potencial de energia disponível e acessível oferecido pelo sol longe está de ser inteiramente empregado. Entretanto, dados os preços relativos e o estado das artes, não se pode esperar que, mesmo com um forte esforço de racionalização, a energia solar possa substituir mais que uma pequena parcela da energia que a humanidade consome a partir de seu capital energético.

tornar recursos degradados em recursos disponíveis, reciclando tudo (...).” Mas não é isso que acontece. “*À luz desses fatos, torna-se difícil entender como se pode afirmar que a lei da entropia não é relevante para [a ciência que se devota ao estudo da] escassez de recursos.*” (p. 94).

4. A ECONOMIA DA SOBREVIVÊNCIA E O FUTURO DA HUMANIDADE

A perspectiva em relação ao futuro da sociedade humana dessa escola é bem menos otimista que a da economia ambiental neoclássica depois da avaliação de Solow (1974), mas existem diferenças entre a visão dos autores iniciais e a dos autores mais recentes. Os primeiros se preocuparam especialmente com a possível exaustão de recursos naturais estratégicos, enquanto os segundos vêm enfatizando os impactos da aceleração entrópica sobre a resiliência do ecossistema global. Examinamos, a seguir, essas duas visões.

4.1 A Visão dos Iniciadores

Os primeiros autores dessa escola - Nicholas Georgescu-Roegen e Kenneth Boulding - têm postura semelhante em relação à discussão da seção anterior, mas divergem nas suas avaliações a respeito do futuro da humanidade em face da aceleração entrópica gerada pela sociedade industrial contemporânea.

A Visão Levemente Esperançosa de Boulding

A contribuição mais popular desse autor no campo da economia ambiental é seu trabalho de 1996, reimpresso várias vezes. Nele recrimina a sociedade humana contemporânea por sua resistência em abandonar a economia do *cowboy* - economia que não acredita em limitações de recursos naturais - em favor da economia do astronauta - que reconhece como absolutamente prioritário para assegurar a sobrevivência da “espaçonave terra”, um manejo prudente de recursos naturais. Contudo, como ficará claro adiante, Boulding tem contribuições de maior peso para esse campo.

Na sua discussão do futuro distante Boulding substitui a conceituação tradicional de entropia por formulação mais ampla (mas menos precisa): a da entropia como perda de potencial. “*O que detectamos na história da humanidade é a constante interação de dois processos, atuando em sentidos opostos, dos quais um às*

vezes domina o outro. Um é o processo de entropia, interpretado como o princípio da exaustão de um dado potencial.” (...) Mas este é “constantemente contraposto por processos de recriação de potencial.”(BOULDING, 1980, p. 184) O autor não nega que são bastante elevadas as incertezas sobre o futuro, pois “estamos lidando com um sistema muito diferente da mecânica newtoniana e da previsão de eclipses”, mas deposita esperança no funcionamento do princípio da autopoese. Segundo este, “em um sistema estocástico um evento de dada probabilidade, por mais reduzida que seja, acabará ocorrendo, desde que se passe um período de tempo o suficientemente longo. E, uma vez ocorrido o evento, alteram-se as probabilidades de eventos na sua imediata vizinhança, simplesmente porque o evento muda a estrutura do sistema.”(p. 187).

Não só parece inexorável o esgotamento do capital de recursos energéticos atualmente conhecidos, como não surgiram ainda fontes alternativas viáveis de energia para substituir, nos montantes necessários, a energia que se esgota. Boulding se apóia, contudo, no princípio da autopoese para argumentar que é possível que venha a ser recriado o potencial que vai se esgotando. Lembra, entretanto, que esse princípio pressupõe a passagem de um período de tempo, que pode ser muito longo; e se demorar muito para que se concretize a recriação de potencial, ou se nosso uso perdulário de recursos abreviar significativamente a duração do capital energético ora existente, quando se concretizar a recriação de potencial a mesma pode deixar de ter sentido, dado o estado adiantado da degradação entrópica. Para reduzir a chance disso ocorrer, é fundamental que a humanidade passe a usar, de forma mais prudente, recursos escassos e finitos de baixa entropia. Há que “direcionar a evolução no sentido da salvação ao invés da destruição.” (BOULDING, 1980, p. 188)

O Acentuado Pessimismo de Georgescu-Roegen

O comportamento da sociedade humana diante dos recursos naturais essenciais levou Georgescu-Roegen a adotar postura extremamente pessimista. Esse autor chegou mesmo a considerar inexorável, em um prazo não muito distante, acentuado declínio da humanidade. Nas suas palavras, “(t)alvez o destino do homem seja o de ter vida curta, mas fogosa, estimulante e extravagante, ao invés de existência longa, mas vegetativa e sem grandes eventos. Deixemos outras espécies - as amebas, por exemplo - (...) herdar o globo terrestre ainda abundantemente banhada pela luz solar.” (GEORGESCU-ROEGEN, 1975, p. 379) Mais recentemente, porém, abrandou seu pessimismo, admitindo a possibilidade - que considera remota - de um alongamento da sobrevivência da humanidade.

Na sua argumentação, o autor parte da definição de tecnologia como uma receita para fazer alguma coisa. Mostra que existem receitas factíveis (que

permitem realizar o que se deseja) e não factíveis (com as quais se gostaria ter mas que ainda não são disponíveis). Das tecnologias factíveis, interessam apenas as viáveis. Estas compõem a matriz tecnológica da sociedade. Entretanto, *“como não existe receita para criar energia ou matéria, toda a tecnologia viável requer uma oferta contínua de baixa entropia do meio ambiente. Para tal é necessário incluir alguma receita (...) que converta a energia e a matéria ambientais em energia e matéria ao dispor de outras atividades.”* (GEORGESCU-ROEGEN, 1986, p. 15) Mas, no que diz respeito à energia, a história nos mostra que esse tipo de tecnologia é difícil de ser obtida. Isso porque a mesma necessita satisfazer a seguinte condição restritiva: a de gerar fluxos líquidos positivos de energia a serem repassados a outras tecnologias da matriz. Georgescu-Roegen chama de **prometeana** a tecnologia que cumpre essa condição crucial. Conforme ressalta o autor, no que diz respeito à energia, até hoje a humanidade teve acesso a apenas duas tecnologias prometeanas: a do controle do fogo (o Prometheus I), e a da máquina térmica (o Prometheus II).

Convertendo em energia térmica materiais combustíveis, e permitindo reação em cadeia (uma faísca pode incendiar toda uma floresta), o controle do fogo permitiu à espécie humana *“não apenas se aquecer e cozinhar seus alimentos, mas, acima de tudo, fundir e forjar metais, cozer tijolos, cerâmica e calcário (...). Durante a nova era tecnológica apoiada, primariamente na combustão da madeira, foram inventadas em ritmo crescente novas receitas de todos os tipos”*, possibilitando rápida expansão econômica. O problema, entretanto, é que esse desenvolvimento acabou destruindo sua base de suporte; o principal combustível então empregado era a madeira e, no alvorecer da primeira revolução industrial, o seu uso já havia eliminado as florestas de boa parte da Europa, e a crise parecia inevitável. (GEORGESCU-ROEGEN, 1986, p. 15)

A crise foi, entretanto, contornada pelo Prometheus II, tecnologia que *“permitiu à espécie humana obter força motriz de fonte mais abundante e bem mais poderosa: o fogo alimentado por combustíveis minerais.”* Há muito já se vinha usando o carvão mineral, mas se tinha acesso apenas ao carvão próximo da superfície da terra, que logo se esgotou. A extração do carvão subterrâneo era obstaculizada pela água que se infiltrava nas minas. Mas, no final do século XVIII, surgiu o Prometheus II, a invenção de máquina que permitiu a transformação da energia térmica em mecânica. A máquina a vapor não só tornou possível contornar o problema da água na mineração do carvão (impulsionando bombas hidráulicas), como viabilizou a extração de bem mais recursos energéticos que os usados na extração - recursos esses que foram postos à disposição de outras tecnologias, permitindo acelerar significativamente o progresso. *“Ainda vivemos sob a égide da tecnologia viável engendrada pelo”* Prometheus II. Entretanto, o desenvolvimento que essa tecnologia possibilitou *“acelerou a depleção de sua base de suporte.”* Por

isso, “*estamos agora nos aproximando de nova crise tecnológica, uma crise energética.*” (GEORGESCU-ROEGEN, 1986, p. 15-16)

Se, inicialmente, considerava negro o futuro da humanidade, no seu trabalho de 1986 o autor passou a admitir a possibilidade da descoberta do Prometheus III - uma nova fonte de energia com atributos prometeanos. Essa descoberta adiaria por mais algum tempo a crise associada à crescente escassez imposta pela lei da entropia. Todavia, considerou ainda remota essa possibilidade; na verdade, expressou preocupação com a nossa complacência, fundada na fé no que chamou de **falsas dádivas prometeanas** - por exemplo, a energia nuclear e a captação e uso extensos da energia solar. (GEORGESCU-ROEGEN, 1986, p.16)

Em suma, marcados que foram pela crise do petróleo da década de 1970, os dois iniciadores da economia da sobrevivência identificaram como principal ameaça à sobrevivência da sociedade humana a crescente depleção do capital de energia de baixa entropia do nosso globo. Reconheciam os problemas da poluição e da degradação promovidas pelo sistema econômico, mas se mostraram muito mais preocupados com o risco de escassez crítica de capital energético. Como se verá a seguir, contribuições recentes dão muito mais ênfase aos impactos da degradação e da poluição resultantes da recente aceleração entrópica.

4.2 A Nova Perspectiva da Economia da Sobrevivência

Recentemente, grupos de pesquisa passaram a analisar em profundidade os impactos desestabilizadores da recente aceleração entrópica. Esses grupos vêm se preocupando mais com a exaustão de um tipo distinto de recurso natural: a capacidade de suporte do meio ambiente, que consideram estar sendo levada ao limite pela atual expansão econômica. Esta seção examina a contribuição de autores representativos desses grupos; mas antes efetua breve exposição da moldura conceitual que adotam.

A Moldura Conceitual das Novas Abordagens

É óbvia a preocupação da **economia da sobrevivência** com o desenvolvimento duradouro. Mas para essa escola a noção de desenvolvimento não se alinha com a de **crescimento**, como na modelagem neoclássica (ver PERRINGS, 1987), mas sim com a de **evolução**, no âmbito de conceito específico de equilíbrio dinâmico. E é óbvio, também, que o futuro da humanidade está associado à estabilidade do ecossistema global - à sua resiliência. O conceito central ligando **desenvolvimento à estabilidade** é, pois, o de **quase-equilíbrio**.

Existem dois significados de quase-equilíbrio dinâmico: uma é a do quase-equilíbrio cibernético, por exemplo, o equilíbrio de um ecossistema estável (uma floresta madura, um manguesal), onde temos *“nascimento, morte, relações cooperativas e competitivas de populações, mas [onde] existe um estado do sistema que pode ser chamado de quase-equilíbrio, no qual uma mudança em qualquer de suas populações provocaria restauração de seu valor original.”* (BOULDING, 1991, p. 23) Este não é, entretanto, o significado relevante para a análise da estabilidade do desenvolvimento; isso porque o desenvolvimento não requer que, após mudanças, haja retorno ao equilíbrio anterior. No contexto do desenvolvimento a noção de quase-equilíbrio se afina mais ao conceito de **evolução**, *“um processo de mudança continuada [com] de padrões ou parâmetros estáveis.”* (BOULDING, 1991, p. 23; ver, também, BOULDING, 1981) Em termos do conceito de exaustão de recriação de potencial apoiado no princípio da autopoese, o desenvolvimento origina exaustão de potencial, mas também a recriação de potencial, abrindo novos nichos que são ocupados, dando origem a outros nichos, *“e assim por diante, com o sistema em permanente transformação.”* (...) Temos, pois, *“complexidade, controle, e consciência emergindo do caos por processos que têm muito em comum com a autopoese.”* (BOULDING, 1980, p. 187)

Caracterizando o desenvolvimento como mudança evolucionária, não é de se esperar que os parâmetros evolucionários permaneçam imutáveis. A evolução biológica oferece exemplos de catástrofes que mudaram parâmetros evolucionários. Uma catástrofe evolucionária é um *“evento improvável, seja uma catástrofe externa ou alguma mutação improvável”,* [que gera mudanças drásticas, criando] *“novos nichos, novas espécies e, talvez, ampla extinção de espécies antigas, após o que as coisas se acalmam e a evolução se desacelera.”* (BOULDING, 1991, p. 23)

Sem dúvida, a humanidade vem gerando distúrbios que se aproximam da categoria de catástrofe evolucionária. O aparecimento do *homo sapiens* *“elevou o ritmo da evolução no nosso planeta e se mostrou ecologicamente catastrófico para muitas espécies mais antigas.”* (BOULDING, 1991, p. 23-24) Invadimos quase todos os ecossistemas da terra e originamos uma enorme quantidade de artefatos - tanto inanimados como biológicos -, muitos dos quais ocupam nichos extensos do ecossistema global, reduzindo populações prévias de artefatos biológicos; ademais, estamos envenenando extensamente o meio ambiente.

Nesse ponto é importante recordar o que foi visto acima: a atual agressão antrópica só vem sendo possível em virtude do nosso acesso ao capital energético da terra; sem este a espécie humana não poderia colonizar o planeta, transformando-o quase em um único ecossistema. E, ao fazermos isso, além de contribuir para a exaustão do capital energético, estamos ampliando a possibilidade de catástrofe evolucionária. Parece que nos esquecemos que *“somos*

criaturas biológicas, parte da biosfera, e que catástrofes na biosfera inevitavelmente nos afetarão.” (BOULDING, 1991, p. 25)

É esse o contexto analítico das vertentes recentes da **economia da sobrevivência**. Mas as mesmas também se apóiam na teoria dos sistemas dissipativos de Prigogine.¹⁴ Vendo limitações na termodinâmica clássica - desenvolvida para sistemas isolados evoluindo no sentido de um estado de equilíbrio remoto¹⁵ - para o estudo de sistemas abertos e fechados exibindo estados de quase-equilíbrio, Prigogine desenvolveu a teoria das estruturas dissipativas longe do equilíbrio - estruturas que, uma vez formadas, adquirem certa estabilidade, que pode ser rompida. O autor usou essa abordagem em seus estudos de química, mas a mesma foi depois empregada em outros campos. Para a abordagem longe do equilíbrio, um sistema vivo é uma estrutura que dissipa entropia. É um sistema aberto, que cresce e evolui intercambiando energia e matéria com o sistema maior que o contém. E, no processo, consegue reduzir sua entropia interna, aumentando a entropia do sistema maior.

Apoiadas nessa abordagem, as correntes recentes da **economia da sobrevivência** tendem a se valer de abstração conveniente - a do ecossistema global, um sistema fechado, dinâmico e auto-organizado, composto de um conjunto interdependente e vulnerável de subsistemas. Graças ao fluxo contínuo de energia solar, esse sistema é mantido em um estado estável longe do equilíbrio. Esse fluxo de energia impulsiona uma série de processos bioquímicos vitais no sistema global - um conjunto inter-relacionado *“de ciclos materiais nos quais a matéria é continuamente reciclada. Esses ciclos materiais são propulsionados pela dissipação de energia solar que, no final, é irradiada para o universo.”* (BINSWANGER, 1993, p. 221) Esses ciclos materiais biologicamente assistidos - os ciclos de nutrientes - contribuem para a circulação de materiais e para a auto-regulação do sistema global. São essenciais à preservação da vida.

As correntes recentes consideram que a atual estabilidade longe do equilíbrio do sistema global é apenas um de vários estados de equilíbrio local; e que catástrofes evolucionárias têm o potencial de deslocar o sistema, da sua atual configuração de equilíbrio a uma outra, com conseqüências imprevisíveis, mas potencialmente dramáticas.

14 Ver PRIGOGINE & STENGERS (1984); e, também, BINSWANGER (1993) e PERRINGS *et alii* (1995, especialmente p. 4).

15 Recordando, para a termodinâmica clássica equilíbrio é o estado em que a energia se apresenta com temperatura uniforme, não podendo, pois, gerar trabalho.

Explorando a natureza da desestabilização, suponhamos um sistema igual ao do nosso globo, mas sem a espécie humana. Graças ao funcionamento do sistema de ecociclos, a entropia do sistema global tenderia a não aumentar. Do ponto de vista da energia, em um intervalo de tempo a 'produção' de entropia, ΔS_i , pelo sistema seria contrabalançada pelo influxo de energia de baixa entropia do sol, ΔS_e , e ΔS seria próximo de zero. A energia solar possibilitaria a evolução de uma grande variedade de espécies complexas em muitos ecossistemas locais. Além disso, a matéria seria perfeitamente reciclada pelos ecociclos. Como resultado teríamos um sistema sustentável e altamente eficiente.¹⁶ Inserindo, porém, a atual sociedade humana nesse cenário, o sistema logo funcionaria, e de forma crescente, fora do sistema de ecociclos. Isso seria possível graças ao emprego de grande quantidade de energia de baixa entropia extraída dos estoques de recursos energéticos não renováveis de nosso globo. O sistema econômico passaria a dissipar muito mais entropia no ecossistema global que a passível de ser sustentada pela 'renda' energética originária do sol.

Conforme ressalta Binswanger (1993, seção 5.1.), merece destaque o fato de que a atual 'produção' de entropia (calor, poluição, dejetos sólidos) não está adaptada ao sistema global de ecociclos; portanto, não pode ser adequadamente reciclada. Receia-se que, se persistir essa situação, ocorrerá ruptura da atual estabilidade longe do equilíbrio do sistema global. O sistema dispõe de mecanismos de auto-regulação que asseguram sua resiliência diante de distúrbios moderados, mas teme-se que esses mecanismos não suportem os impactos de distúrbios muito fortes.

As variantes recentes da **economia da sobrevivência** dirigem suas atenções aos efeitos desestabilizadores da nossa enorme 'produção' de alta entropia. Focalizam as conseqüências de impactos antropogênicos sobre a estabilidade do sistema global, que temem estar ameaçada. Dessas variantes, uma dá ênfase aos impactos da intoxicação gerada pela sociedade industrial moderna, e a outra avalia os efeitos da persistente destruição de biodiversidade promovida pela espécie humana. Segue-se a avaliação de suas visões de longo prazo.

16 Ver BINSWANGER (1993, parte 4.2.). Eficiência ecológica é o máximo de biomassa capaz de ser mantida a partir da degradação de uma certa quantidade de baixa entropia.

Entropia e os Impactos de Crescente Intoxicação Ambiental

Em artigo seminal Robert Ayres e Allen Kneese lançaram as bases da economia ambiental neoclássica. (AYRES & KNEESE, 1969) Entretanto, aparentemente pouco a vontade com os rumos dessa escola, Ayres deixou o circuito neoclássico, e agora lidera um grupo de pesquisa que investiga os efeitos das emissões tóxicas resultantes da recente aceleração entrópica produzida pela sociedade humana.

As pesquisas de Ayres e associados vêm se apoiando na teoria das estruturas dissipativas de Prigogine. Focalizam o globo terrestre como um sistema dinâmico, auto-organizado, que opera mediante uma série de processos físicos e químicos, graças aos quais *“se mantém em um padrão dinâmico de mudanças contínuas, dentro de uma envoltória estável.”* (...) *“Em certo sentido, o sistema terrestre como um todo é semelhante a um organismo individual: o sistema se mantém em um estado estável (...) graças a um fluxo abundante de energia fornecida pelo sol.”* A energia solar aciona um sistema de processos bioquímicos que fornecem suporte à nossa atmosfera de oxigênio-nitrogênio; há, também, ciclos bioquímicos para o nitrogênio, o enxofre, o fósforo, o cálcio, o potássio, o cloro, o iodo, entre outros. Todos são essenciais para a manutenção da vida. Mas, *“...todo o ciclo fechado (da água, do carbono/oxigênio, etc.) é inerentemente um fenômeno de não-equilíbrio, no sentido de que só se mantém graças à energia de baixa entropia oriunda do sol.”* Esta *“é uma consequência óbvia da segunda lei da termodinâmica, segundo a qual a entropia de todos os processos irreversíveis aumenta em um sistema isolado.”* (AYRES, 1993, p. 202 e 204; ver, também, AYRES, 1994 e 1995)

Conforme se argumentou acima, diferentemente dos demais organismos vivos, a sociedade humana funciona fora de sintonia com os ecociclos, causando perigosa intensificação da degradação do sistema global. A questão é: até que ponto os mecanismos de estabilização do sistema global resistirão à crescente agressão antropogênica? Tratando dessa questão Ayres se vale da noção de **metabolismo**. Para a fisiologia, o metabolismo compreende processos internos de um organismo vivo, responsáveis por sua manutenção, crescimento e reprodução. Esses processos requerem a extração de matéria e energia do meio externo do organismo, e geram emanções de energia dissipada e de matéria degradada de volta ao meio externo. Numa analogia, o autor trabalha com a noção de **metabolismo industrial**. Considera a economia um organismo vivo, e o metabolismo industrial é visto como *“todas as transformações de matéria e energia que tornam possível ao sistema econômico funcionar, isto é, produzir e consumir.”* (AYRES & SIMONIS, 1994, p. xi) E, em decorrência dessas transformações, a matéria e a energia são devolvidas ao meio ambiente em estado irreversível de alta entropia.

Essa analogia entre o sistema econômico e um organismo biológico só é válida até certo ponto. Na natureza, as emanações de uma forma de vida são geralmente essenciais a outras formas de vida. As plantas, por exemplo, produzem biomassa empregando a energia do sol, água, nutrientes e dióxido de carbono, e geram o oxigênio como resíduo. Mas o oxigênio é essencial para a sobrevivência de animais aeróbicos que, por sua vez, emanam o dióxido de carbono como resíduo, fechando o ciclo. Este é um dos ecociclos essenciais ao funcionamento e à estabilidade do ecossistema global. Entretanto, o sistema econômico não funciona dessa forma; as emanações do seu metabolismo compreendem não só resíduos - como o dióxido de carbono - excessivos em face da capacidade de absorção de outros organismos, mas, também, quantidades crescentes de dejetos tóxicos prejudiciais a quase todas as formas de vida.

Segundo Ayres, os impactos dessas emanações sobre os mecanismos de autorregulação do sistema global estariam ameaçando a sua estabilidade. Reconhece que o sistema global *“tem certa capacidade de assimilar elementos tóxicos e de se limpar e rejuvenescer. Mas as atividades antropogênicas estão produzindo rejeitos muito mais rapidamente que o permitido pela capacidade de regeneração da natureza.”* (AYRES, 1995, p. 2-3)

Ayres admite que existe o potencial de exaustão de certos recursos naturais básicos - a maior preocupação dos iniciadores da economia da sobrevivência. Reconhece que a situação de uma população humana em crescimento continuado em um globo terrestre finito, e com taxas de renovação de recursos menores que as de extração, não tem como se sustentar a longo prazo. Preocupa-se, por exemplo, com a expansão do uso da água a taxas maiores que as de crescimento demográfico; e com a mobilização, em padrões semelhantes, de substâncias da crosta terrestre, notadamente combustíveis fósseis e metais. Para Ayres, esse estado de coisas não pode perdurar indefinidamente.¹⁷ Receia, entretanto, que a perda de estabilidade provocada por emanações do metabolismo do sistema econômico ocorra muito antes da escassez de recursos básicos se tornar crítica.

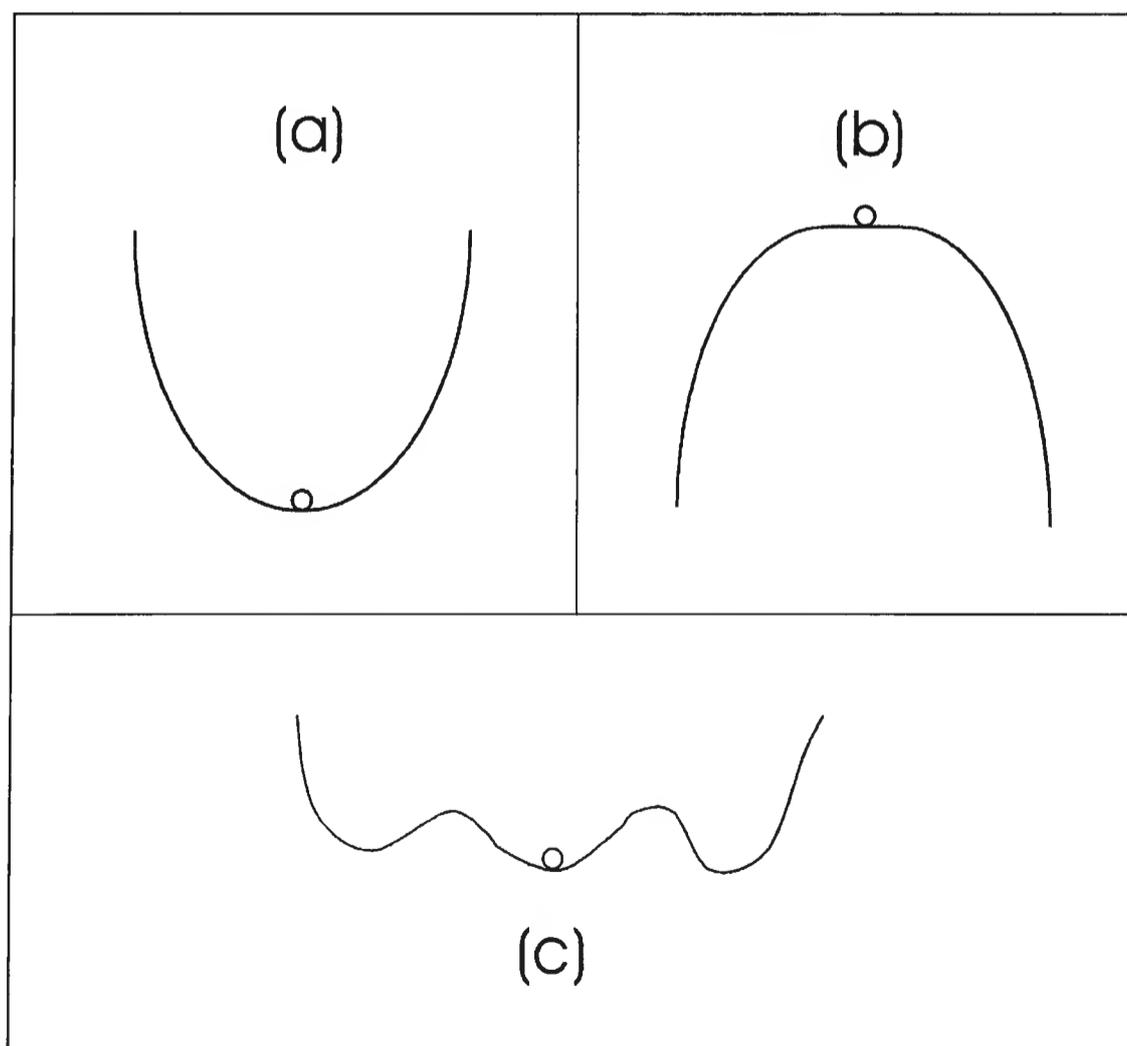
A abordagem do metabolismo industrial rejeita a hipótese ambiental fraca modificada, de um meio ambiente neutro, ao qual se pode poluir em maior ou menor grau, com reações previsíveis, reversíveis. Essa hipótese se choca frontalmente com a concepção do sistema global como *“um sistema extremamente não linear e auto-organizado (...) em um estado quase estacionário (...); um sistema*

17 Conforme demonstra AYRES (1995, na seção 3). Ver, também, AYRES (1993, p. 199-202).

que, quando “suficientemente perturbado - pode ‘pular’ a um outro estado estacionário, ou mesmo oscilar entre dois ou mais desses estados.” (AYRES, 1995, p.8)

Para ilustrar seu argumento, Ayres apresenta analogias topográficas de três visões da capacidade de resistência do meio ambiente em face de perturbações antrópicas. (AYRES, 1995, p. 8-9) O painel (a) da Figura 2 ilustra a concepção de estabilidade global, não só da modelagem neoclássica, como a de uma corrente de pensamento ambiental. (HOLLING *et alii*, 1995, p. 50) Para estas, a estabilidade do sistema global se assemelha ao equilíbrio de uma bolinha dentro de um copo com beiradas altas. Um safanão no copo muda a posição da bolinha, mas, terminada a perturbação, a mesma volta à posição inicial. Semelhantemente, o meio ambiente pode ser perturbado, mas não reage de forma dramática; e uma vez cessada a perturbação, o equilíbrio será retomado. Implícita nessa visão está a concepção de uma natureza robusta, dotada de elevada capacidade de auto-regeneração.

FIGURA 2 - ILUSTRAÇÃO TOPOGRÁFICA DE CONCEPÇÕES DA ESTABILIDADE DO EQUILÍBRIO DO SISTEMA GLOBAL



Concepção oposta - a de um equilíbrio altamente instável - é ilustrada no painel (b) da Figura 2. É como se a bolinha estivesse inicialmente situada sobre a base de copo virado de ponta-cabeça; bastaria um pequeno safanão para fazê-la cair e rolar para longe. Analogamente, se suficientemente perturbado, o meio ambiente reagirá de forma dramática. Esta é, por exemplo, a visão do *The Limits of Growth* (MEADOWS *et alii*, 1972) e de alguns ambientalistas (ver ERLICH, 1988) - a visão de uma natureza altamente vulnerável.

Para Ayres, entretanto, a analogia topográfica mais relevante é a da bolinha em um recipiente de fundo ondulado. Como indica o painel (c) da Figura 2, um pequeno safanão levará a bola a se mover, mas logo a retornar à posição de equilíbrio inicial; mas uma perturbação mais forte fará com que a bolinha se desloque de seu nicho inicial a um outro no fundo do recipiente. Para o autor, essa analogia traduz de modo mais realista o comportamento do mundo natural em face das agressões do sistema econômico.

Em suma, para a abordagem do metabolismo industrial a restrição fundamental à expansão da escala da economia mundial estaria na capacidade limitada do meio ambiente de assimilar, sem reações catastróficas, fluxos crescentes de dejetos tóxicos gerados pelo seu metabolismo. A principal questão é: *“até que ponto o sistema pode absorver distúrbios sem perder a capacidade de se recuperar? Quanto de perturbação será necessário para “chutar” o sistema de um estado estacionário a outro?”* (AYRES, 1995, p. 9) Não existem ainda respostas convincentes a essas questões. O problema é que, como *“não conhecemos em detalhe os mecanismos de estabilização para o clima e para vários outros ciclos, não podemos avaliar a perturbação que será necessária para mover o sistema a um outro estado quase estacionário, ou mesmo para iniciar um movimento no sentido de um verdadeiro equilíbrio, aquele no qual a vida não se sustentaria. Podemos confiar que perturbações antropogênicas pequenas (...) não desestabilizarão o sistema. Mas, em relação a alguns materiais (como os gases do efeito estufa), as perturbações”* [resultantes do metabolismo industrial] *“ao longo do próximo século”* poderão levar o sistema global a situação extremamente perigosa. (AYRES, 1993, p. 205)

O que deve ser feito em face dessa situação? Para Ayres (1993, p. 205), a única alternativa prudente é a de uma atuação firme visando controlar as interferências antropogênicas desestabilizadoras dos processos naturais.

A Biodiversidade Funcional e a Resiliência do Ecossistema Global

A outra das vertentes recentes da economia da sobrevivência está associada ao Programa da Biodiversidade, patrocinado pelo Instituto Beijer da Academia

Real de Ciências da Suécia. Trata-se de esforço de pesquisa de forte participação de economistas, de ecologistas e de outros cientistas naturais, para estudar o papel da diversidade de espécies na resiliência de ecossistemas individuais e, por extensão, do sistema global; visa aprimorar nossa compreensão das inter-relações entre os sistemas econômico e ecológico. (PERRINGS *et alii*, 1995, Prefácio) Esse esforço transdisciplinar também rejeita a hipótese de um meio externo do sistema econômico passivo; e também apóia-se na teoria das estruturas dissipativas de Prigogine.

As atenções dos pesquisadores do Instituto não se centraram no problema que vem capturando a atenção da opinião pública - o da eliminação de determinadas espécies de elevado potencial para a satisfação de necessidades humanas. Focalizaram, ao invés, as funções desempenhadas pela biodiversidade na manutenção do equilíbrio de ecossistemas. Foram postas em um primeiro plano as funções que a biodiversidade desempenha na geração de serviços ecológicos fundamentais - notadamente as da manutenção da resiliência.¹⁸

Conforme ressaltam Holling *et alii* (1995), a ecologia tem duas concepções de resiliência: a da **ecologia de ecossistemas**, que considera a resiliência em termos da resistência de um ecossistema a distúrbios, e da velocidade do retorno deste a uma posição de equilíbrio uma vez eliminados os distúrbios. Estes provocariam deslocamentos nas imediações de um equilíbrio globalmente estável, na linha do ilustrado na Figura 2 (a), acima. A outra concepção - a da **ecologia de comunidades** - considera a dinâmica ecossistêmica em situação de equilíbrios múltiplos locais, mais em linha com o ilustrado na Figura 2 (c). Para essa concepção, resiliência é o montante de distúrbio que pode ser absorvido pelo ecossistema antes que ocorra mudança fundamental na sua **estrutura de controles**, provocando deslocamento, de uma dada situação de equilíbrio local a outra. Essa é a concepção dos pesquisadores do Instituto Beijer.

18 Esta parte se apóia, principalmente, em PERRINGS *et alii* (1995) e em HOLLING *et alii* (1995); trata-se dos capítulos 1 e 2 de volume com resultados de pesquisas do Programa de Biodiversidade do Instituto Beijer. Conforme se depreende da leitura dos textos do volume, o diálogo entre os economistas e os ecologistas do grupo de pesquisa nem sempre foi fácil. Focalizando o sistema global, com a economia nele inserido, a visão dos economistas era essencialmente macro. O contrário acontecia com os ambientalistas, cuja experiência resultava de vários estudos independentes, dos quais não procuravam traçar generalizações. Tinham, portanto, visão basicamente micro. Além disso, as análises dos ambientalistas se valiam do método indutivo, enquanto prevalecia entre os economistas o método dedutivo. Com o tempo, porém, os economistas puderam capturar o sentido dos estudos de caso dos ecologistas, e estes concordaram em realizar esforço de generalização e síntese.

O esforço de pesquisa começou estabelecendo os papéis centrais da diversidade de espécies em um ecossistema. Estes seriam basicamente dois: as diversas espécies intermediam os fluxos de energia e de matéria - os ecociclos -, determinando as propriedades funcionais do ecossistema; e a diversidade fornece ao ecossistema **resiliência** diante de eventos extraordinários. Em termos agregados, ao sustentar os ciclos biofísicos no contexto de uma hierarquia de ecossistemas, a diversidade biológica é um elemento essencial do mecanismo de auto-organização do sistema global e, portanto, da sua capacidade de responder a pressões impostas pela degradação antrópica - da sua resiliência. (PERRINGS *et alii*, 1995, p. 1-4)

Os impactos da destruição em larga escala de espécies deveriam, pois, receber a máxima atenção. Contudo, nós nem nos damos conta, adequadamente, da extensão da destruição de espécies no nosso globo. Conforme ressalta Boulding (1991), esta vem ocorrendo há muito tempo, em conexão com a ocupação humana de espaços. A agricultura moderna, a formação de extensas pastagens, os manejos inadequados de pastagens nativas e de áreas destinadas à extração vegetal, a indiscriminada drenagem de áreas alagadas, a pesca excessiva, e a ocupação do espaço por cidades e pela infra-estrutura, todos tiveram impactos importantes em termos de destruição de biodiversidade. Contribuíram, também, a intoxicação de *habitats* por dejetos industriais, por fertilizantes químicos e pesticidas e a introdução em ecossistemas de espécies exóticas. A verdade é que os sistemas naturais têm sido tratados de forma muito descuidada e não há sinais de que isso esteja mudando.

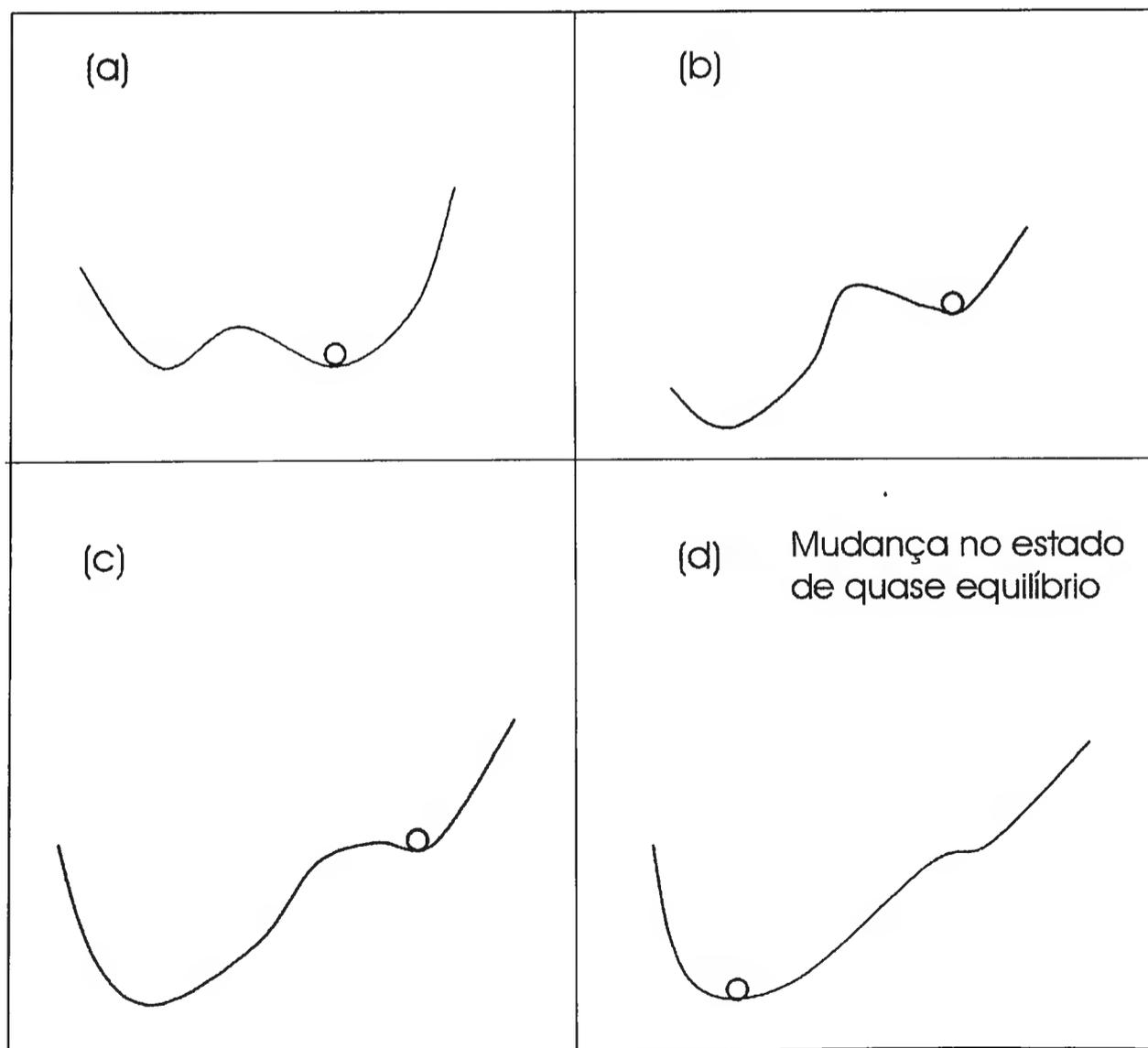
No contexto da expansão recente da economia e da atual dinâmica demográfica, nosso descaso é garantia de elevada e crescente pressão sobre a biodiversidade. Os ecologistas vêm constatando casos, cada vez mais freqüentes, de alterações preocupantes de ecossistemas de diferentes tipos e mesmo de ruptura da estabilidade, com mudança de um estado de equilíbrio local a outro. São florestas que se tornam áreas de savana, é o colapso de zonas pesqueiras, a transformação de áreas de savana em semidesertos, são as áreas erodidas acompanhadas de extenso assoreamento de cursos d'água, entre outros casos; e em todos foi fundamental o papel da destruição da biodiversidade (ver HOLLINGS *et alii*, 1995, especialmente seção 2.2.).

O grupo de pesquisa enfatiza a dinâmica desse tipo de alteração. O padrão é quase sempre o mesmo: com a simplificação e a exploração econômica inadequada, há perda gradual de **diversidade funcional**, com conseqüente redução de resiliência. Até um certo momento, esse processo se desenrola lentamente; mas, subitamente, observam-se mudanças, geralmente irreversíveis, no sentido de um novo estado de quase-equilíbrio. Conforme ressaltam Hollings

et alii (1995, p. 53), atividades antropogênicas produzem “mudanças nos solos, na hidrologia, em processos de distúrbio e em complexos fundamentais de espécies.” Como resultado, o “...controle de funções do ecossistema se desloca de um conjunto inter-relacionado de processos físicos e biológicos a outro.”

A analogia topográfica da Figura 3 ilustra a dinâmica das mudanças. O painel (a) mostra o equilíbrio localmente estável inicial do ecossistema global; existem duas possíveis regiões de equilíbrio. Começam as perturbações, modificando gradualmente a estrutura organizacional do sistema [ver o painel (b)]. E, como se pode observar comparando os painéis de (a) a (c), a mudança na estrutura organizacional faz com que perturbações progressivamente menores sejam necessárias para mudar o estado de equilíbrio do sistema de uma região a outra. Finalmente, as alterações cumulativas são tais que, como ilustra o painel (d), o sistema muda espontaneamente de estado de equilíbrio.

FIGURA 3 - ILUSTRAÇÃO TOPOGRÁFICA DA DINÂMICA DO PROCESSO DE MUDANÇAS NA ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DE UM ECOSISTEMA, EM CONSEQÜÊNCIA DE PERTURBAÇÕES CONTÍNUAS



Esse padrão de comportamento já foi observado inúmeras vezes em ecossistemas individuais. “*Ecossistemas reais (...) são não lineares e descontínuos, além de complexos no seu comportamento temporal. Não há razão para acreditar que, como resultado de distúrbios causados [por perturbações antrópicas], os mesmos converjam novamente a um equilíbrio bem definido (a um estado de clímax).*” (PERRINGS, 1995, p. 9-10) A questão que se coloca é: até que ponto esse mecanismo opera no ecossistema maior, composto de muitos subsistemas que experimentam mudanças em suas posições de equilíbrio local? De acordo com Holling (1996), a intensificação de alterações irreversíveis dos parâmetros organizacionais do sistema maior pode vir a afetar criticamente a sua resiliência, levando-o a um deslocamento da posição de equilíbrio localmente estável.

O mais grave é que não se conhece a magnitude dos danos - via destruição da biodiversidade - que o sistema econômico pode impunemente infligir sobre o sistema global. Essa destruição já atingiu níveis preocupantes, mas se desconhece a exata extensão de seus impactos sobre a estrutura organizacional do sistema. Boa parte da opinião pública nem mesmo percebe o problema, mas alguns ecologistas vêm apresentando previsões extremamente pessimistas a respeito (ver ERLICH, 1998). Os pesquisadores do Instituto Beijer não pretendem ter desenvolvido tratamento completo do problema; acham fundamental, contudo, chamar a atenção para o mesmo. Acreditam que a manutenção das tendências recentes reduzirá significativamente a resiliência do ecossistema global, podendo levá-la a um estado crítico, de difícil reversão. Recomendam que se dê muito mais prioridade a pesquisas que nos ensinem como preservar a resiliência de ecossistemas dos quais depende o bem-estar futuro da humanidade.

Concluindo a avaliação das abordagens recentes, cumpre salientar que a visão do metabolismo industrial de Ayres e a da resiliência fundada na biodiversidade do grupo do Instituto Beijer não são incompatíveis. Essas duas vertentes consideram o sistema global um sistema não linear e auto-organizado em um estado de quase equilíbrio; para ambas, uma expansão, o suficientemente forte, da escala da atividade econômica global pode gerar perturbações desse sistema não linear que o desloquem a uma outra região de equilíbrio estacionário. A diferença entre as duas abordagens é mais de ênfase: a visão do metabolismo industrial ressalta os efeitos do crescente envenenamento promovido pelo sistema econômico; mas um desses efeitos é o da destruição de espécies fundamentais ao funcionamento de ecociclos. E o grupo do Instituto Beijer certamente reconhece o papel direto e indireto da crescente intoxicação de ecossistemas na redução de suas resiliências.

Avaliação da 'Comissão de Sábios', da Sustentabilidade do Crescimento

Esta subseção termina com um esboço de importante avaliação, baseada na postura analítica das abordagens recentes da sustentabilidade dos atuais padrões de expansão da economia. Em 1994 o Instituto Beijer reuniu uma comissão de alto nível, composta por seis economistas e cinco cientista ambientais, coordenada pelo Prêmio Nóbel de Economia, Kenneth Arrow,¹⁹ para examinar a relação entre o crescimento econômico e a degradação ambiental. Observações de dados de renda *per capita* e de certos indicadores de qualidade ambiental, tanto entre países como ao longo do tempo, indicaram a existência da seguinte relação empírica: a baixos níveis de renda *per capita*, aumentos desta seriam acompanhados de crescente deterioração ambiental; mas isso aconteceria até um certo ponto, após o qual aumentos de renda *per capita* fariam a degradação declinar. A explicação para esse comportamento se apóia na idéia de que, em um país pobre, o crescimento é prioritário e a preservação do meio ambiente é um luxo; há, pois, relação direta entre a renda *per capita* e a degradação ambiental. Contudo, à medida que o país atinge um padrão de vida mais confortável, a qualidade do meio ambiente assume importância e ocorrem aumentos na demanda por um meio ambiente mais limpo; com isso o país entra em um estágio em que é inversa a relação entre a renda *per capita* e indicadores de degradação ambiental.²⁰ Traçando em um gráfico a relação entre essas variáveis, surge a figura de um U invertido.

19 Ver ARROW *et alii* (1995). Além de Kenneth Arrow, participaram da comissão: Bert Bolin (Departamento de Meteorologia da Universidade de Estocolmo), Robert Costanza (Instituto Internacional de Economia Ambiental de Maryland, EUA), Partha Dasgupta (Departamento de Economia, Universidade de Cambridge, Inglaterra), Carl Folke (Instituto Internacional Beijer de Economia Ambiental, Suécia), C.S. Holing (Departamento de Zoologia, Universidade da Flórida, EUA), Bengt-Owe Jansson (Departamento de Sistemas Ecológicos, Universidade de Estocolmo, Suécia), Simon Lewin (Departamento de Ecologia e Biologia Evolucionária, Universidade de Princeton, EUA), Karl-Göran Mäller (Diretor do Instituto Beijer e economista ambiental de renome), Charles Perring (Departamento de Economia Ambiental e de Manejo Ambiental, Universidade de York, Inglaterra), e David Pimentel (Departamento de Entomologia, Cornell University, USA).

20 Trata-se da hipótese do U invertido, que se originou do *Informe Sobre o Desenvolvimento Mundial de 1992*, do Banco Mundial, sob o tema desenvolvimento e meio ambiente. (WORLD BANK, 1992) Um exemplo de tentativa de validação da hipótese está em trabalhos do volume coordenado por Ian Goldin e L. Alan Winters, sob o patrocínio do Development Center da OCDE. Ver GOLDIN & WINTERS (1994), e especialmente GROSSMAN (1994). As conclusões desses autores são bastante otimistas para eles a hipótese do U invertido é essencialmente correta, embora ressaltem que a hipótese não é válida para todos os tipos de poluição.

Se verdadeira a hipótese do U invertido, ao invés de se considerar o crescimento econômico um anátema - como querem muitos - o mesmo deve ser elevado a fator de amenização de problemas ambientais. Segundo a 'comissão de sábios', entretanto, há sérias razões (não discutidas aqui) para se rejeitar essa visão otimista. Conforme consta do seu relatório, *"o crescimento econômico pode estar associado a melhorias em alguns indicadores ambientais, mas isso não quer dizer que basta o crescimento para que haja melhoria ambiental generalizada, nem que os impactos ambientais do crescimento podem ser ignorados e, com efeito, nem que a base de recursos do globo terrestre é capaz de sustentar indefinidamente o crescimento econômico."* (ARROW et alii, p. 520)

A avaliação da 'comissão de sábios' tem elementos em comum com as análises das correntes recentes da economia da sobrevivência. Argumenta, por exemplo, que a *"base de recursos ambientais, da qual toda a atividade econômica depende, inclui sistemas ecológicos que produzem uma ampla variedade de serviços. Essa base de recursos é finita. Ademais, um uso imprudente da mesma pode reduzir de forma irreversível a capacidade de gerar produção material no futuro. Ou seja, existem limites à capacidade de suporte do nosso planeta. Evidentemente, é possível que melhorias no manejo de sistemas de recursos, acompanhadas de mudanças estruturais na economia que conservem recursos, possibilitem a extensão dos crescimentos econômico e demográfico, pelo menos por mais algum tempo, a despeito do fato de que é finita a base de recurso"* (ARROW et alii, p. 521), mas isso certamente não ocorrerá automaticamente.

A comissão também registrou preocupação com possíveis perdas de resiliência do sistema global. Caracteriza resiliência apoiada na *"dinâmica de ecossistemas que exibem múltiplos equilíbrios (locais) estáveis. Nesse contexto, resiliência é a medida da magnitude do distúrbio que o sistema pode absorver antes que se desloque de um estado de equilíbrio estável localizado a outro. As atividades econômicas são sustentáveis apenas se o ecossistema de suporte à vida do qual as mesmas dependem se mantiverem resilientes."* (ARROW et alii, 1994, p. 521)

A 'comissão de sábios' rejeitou, portanto, o otimismo prevalecente em alguns campos sobre os impactos do crescimento econômico. Suas principais recomendações foram: (1) que dadas as incertezas sobre a dinâmica do sistema global e sobre as conseqüências da tomada de decisões erradas recebam prioridade máxima ações de proteção à sua resiliência; e (2) uma vez que não há como saber quanto de degradação o meio ambiente pode suportar antes que mudanças descontínuas venham a ocorrer, é errado considerar a liberdade econômica e o crescimento acelerado como substitutos para uma política ambiental adequada.

Dado o patrocínio da 'comissão de sábios' pelo Instituto Beijer, pode haver a suspeita de que sua avaliação seja enviesada. Examinando a sua composição, no

entanto, vemos que, embora alguns de seus membros foram (ou são) ligados ao Instituto, seu presidente (Kenneth Arrow) é economista com contribuições seminais ao *mainstream* da análise econômica; o mesmo pode ser dito em relação a Karl-Göran Mäler e Partha Dasgupta relativamente à economia ambiental neoclássica. Nenhum destes daria seu aval a uma avaliação distorcida.

5. COMENTÁRIOS CONCLUSIVOS

Parece existir fortes razões para supor que, numa perspectiva temporal que englobe várias gerações, os recentes padrões de extração de recursos naturais e de degradação ambiental não têm condições de se manter. Este é o tópico central focalizado pela **economia da sobrevivência**. Os fundadores dessa escola se preocuparam mais com os efeitos do esgotamento de recursos naturais não renováveis, especialmente os do capital energético do nosso globo. As variantes mais recentes, por sua vez, vêm enfatizando os efeitos de interferências antropogênicas sobre funções ambientais vitais à estabilidade do sistema global.

As variantes recentes se preocupam especialmente com o nosso ainda elevado desconhecimento dos limites da natureza. Não conhecemos a extensão da capacidade de regeneração do meio ambiente, nem a degradação que este pode suportar antes que ocorram mudanças descontínuas e irreversíveis. Para as mesmas, uma estratégia que coloque a sustentabilidade em um primeiro plano deve dar máxima prioridade à defesa da resiliência dos sistemas ecológicos dos quais a humanidade depende.

A **economia da sobrevivência** rejeita enfaticamente a visão do sistema econômico em interação com um sistema maior passivo e de funcionamento independente, comum na modelagem econômica. Insiste na necessidade de a análise econômica considerar explicitamente as complexas inter-relações entre o sistema econômico e o ecossistema global. E o conceito de **entropia** é um elemento básico para a compreensão dessas inter-relações. A entropia tem papel especial nas variantes mais recentes. Apoiadas na teoria das estruturas dissipativas de Prigogine, visualizam a economia como um sistema que expande, aumentando de forma irreversível a entropia de seu meio externo. Para essas variantes, se a aceleração entrópica persistir, poderá ocorrer perda de estabilidade do sistema global. E se essa se materializar, será muito difícil o retorno à situação de equilíbrio original do sistema.

Mesmo endossando firmemente a importância fenomenológica do conceito de entropia, economistas com pendor à modelagem matemática têm dificuldades

com esse conceito que, como vimos, é peça fundamental da armadura conceitual da **economia da sobrevivência**. O problema está nas sérias dificuldades em se medir a entropia. Têm sido feitas tentativas de formalizar a entropia em modelos, mas, conforme mostra Binswanger (1993), os resultados não são entusiasmantes. Segundo esse autor, as relações entre o uso de recursos e a entropia, e entre a poluição e a entropia, são essencialmente qualitativas, dificultando a sua expressão até mesmo na forma de um índice.

Esse problema ilustra a complexidade de se modelar as inter-relações entre o sistema econômico e o ecossistema global. E à questão da quantificação da entropia se juntam problemas causados pela existência de descontinuidades, de relações não lineares, de mecanismos de retroação, de efeitos de patamar crítico, de irreversibilidades. Ademais, ainda é enorme o desconhecimento de vários aspectos dessas inter-relações e muito terá que ser feito para que a **economia da sobrevivência** avance do campo das interpretações amplas e gerais para a constituição de estrutura analítica mais potente.

Todas as variantes da **economia da sobrevivência** rejeitam enfaticamente a validade de se considerar a liberdade econômica e o crescimento acelerado como elementos básicos de estratégia ambiental de longo prazo. Não negam a importância de políticas apoiadas em mecanismos de mercado para atacar problemas ambientais localizados e de curto prazo, mas consideram que estas têm pouco a oferecer a uma estratégia cujo horizonte temporal engloba várias gerações. Conforme assinalou Ayres (1993), muitos dos recursos cuja degradação ou destruição vem afetando negativamente as perspectivas das gerações futuras estão essencialmente fora do domínio de mercados. Estes incluem *“a fertilidade dos solos, a água, o ar limpo, as paisagens não conspurcadas, a estabilidade climática, a diversidade biológica, a reciclagem biológica de nutrientes e a capacidade do meio ambiente de assimilar resíduos e rejeitos. E não existem substitutos tecnológicos plausíveis para esses elementos. A perda irreversível de espécies e de ecossistemas e a crescente acumulação na atmosfera de gases do efeito estufa, e a de metais tóxicos e químicos no solo, nas águas subterrâneas e no lodo do fundo dos lagos e dos estuários não são passíveis de reversão por nenhuma tecnologia que, de forma plausível, possa surgir nas próximas décadas. Finalmente, os grandes ciclos de nutrientes do mundo natural - os do carbono, do oxigênio, do nitrogênio, do enxofre e do fósforo - requerem estoques constantes em cada compartimento do meio ambiente e a entrada e a saída de fluxos equilibrada destes. Essas condições já foram violadas por uma intervenção humana em larga escala e insustentável.”*(p. 189-190) É difícil imaginar que liberdade econômica e estímulos de mercado possam reverter, ou mesmo atenuar, esse estado de coisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARROW, Kenneth, BOLIN, Bert, COSTANZA, Robert, DASGUPTA, Partha, FOLKE, Carl, HOLLING, C. S., JANSSON, Bengt-Owe, LEWIN, Simon, MÄLLER, Karl-Göran, PERRINGS, Charles & PIMENTEL, David. Economic growth, carrying capacity and the environment. *Science*, n. 268, p. 520-521, 28 de abril, 1995.
- AYRES, Robert U. Cowboys, cornucopians and long-run stability. *Ecological Economics*, v. 8, p. 189-207, 1993.
- _____. Industrial metabolism: theory and policy. In: AYRES, Robert & SIMONIS, Udo (orgs.), *Industrial metabolism: restructuring for sustainable development*. Toquio: United Nations University Press, 1994, p. 3-20.
- _____. Industrial metabolism, the materials cycle, and global change. Trabalho apresentado na *Conferência da Universidade das Nações Unidas*. Sustainable Future of the Global System. Tóquio, 16-18 de outubro de 1995.
- AYRES, Robert & KNEESE, Allen. Production, consumption and externalities. *American Economic Review*, v. 59, n. 3, p. 282-297, jun. 1969.
- AYRES, Robert & SIMONIS, Udo E. Introduction. In: AYRES, Robert & SIMONIS, Udo (orgs.), *Industrial metabolism: restructuring for sustainable development*. Toquio: United Nations University Press, 1994, p. xi-xiv.
- AYRES, Robert U. & AYRES, Leslie W. *Industrial ecology: towards closing the material cycle*. Brookfield, VT: Edward Elgar, 1996.
- BINSWANGER, Mathias. From microscopic to macroscopic theories: entropic aspects of ecological and economic processes. *Ecological Economics*, v. 8, p. 209-234, 1993.
- BOULDING, Kenneth E. The economics of the coming spaceship earth. In: JARRET, H. (coord.), *Environmental quality in a growing economy*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1966.
- _____. Equilibrium, entropy, development and autopoiesis: towards a disequilibrium economics. *Eastern Economic Journal*, v. VI, n. 3-4, p. 178-188, ago./out. 1980.
- _____. *Evolutionary economics*. Beverly Hills, Califórnia: Sage Publications, 1981.
- _____. What do we want to sustain? Environmentalism and human evaluations. In: COSTANZA, Robert (ed.), *Ecological economics: the science of sustainability*. Nova Iorque: Columbia University Press, 1991.
- BURNESS, Stuart, CUMMINGS, Ronald, CUMMINGS, Glenn MORRIS & PAIK, Inja. Thermodynamic and economic concepts as related to the resource-use policies. *Land Economics*, v. 56, p. 1-9, fev. 1980.

- COMMOM, Mick & PERRINGS, Charles. Towards an ecological economics of sustainability. *Ecological Economics*, v. 6, p. 7-34, 1992.
- CMMD, World Commission on Environment and Development. *Our common future*. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- DALY, Herman E. Towards an environmental macroeconomics. *Land Economics*, v. 67, n. 2, p. 255-259, maio 1991.
- _____. Comment: Is the entropy law relevant to the economics of natural resources scarcity? *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 23, p. 91-95, 1992.
- DAVIS, Ged R. Energy for planet earth. In: *Energy for planet earth*. New York: W. H. Freeman and Company, 1991, cap. 1, p. 1-10.
- EHRLICH, Paul S. The loss of diversity: causes and consequences. In: WILSON, E. O. (coord.), *Biodiversity*. Washington, DC: National Academy Press, 1988.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. *Analytical economics*. Cambridge: Harvard University Press, 1966.
- _____. Process in farming versus process in manufacturing: a problem of balanced development. In: PAPI, Ugo & NUNN, Charles (eds.), *Economic problems of agriculture in industrial societies*. Londres: Macmillan, 1969, p. 497-533.
- _____. *The entropy law and the economic process*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1971.
- _____. Energy and the economic myths. *Southern Economic Journal*, v. 41, n. 3, p. 347-381, 1975.
- _____. Matter matters, too. In: WILSON, Kenneth D. (ed.), *Prospects for growth - changing expectations for the future*. Nova Iorque: Praeger Publishers, 1977, p. 293-313.
- _____. Afterword. In: RIFKIN, Jeremy (ed.), *Entropy: a new world view*. Nova Iorque: The Viking Press, 1980, p. 261-269.
- _____. The entropy law and the economic process in retrospect. *Eastern Economic Journal*, v. XII, n. 1, p. 3-25, jan./mar. 1986.
- GOLDIN, Ian & WINTERS, L. Alan. Economic policies for sustainable development. In: GOLDIN & WINTERS (eds.), *The economics of sustainable development*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1994, p. 1-15.
- GROSSMAN, Gene M. Pollution and growth: hat do we know? In: GOLDIN & WINTERS (eds.), *The economics of sustainable development*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1994, p. 19-46.
- HOLLING, C. S. The resilience of terrestrial ecosystems: local surprise and global change. In: CLARK, W. C. & MUNN, R. E. (orgs.), *Sustainable development of the biosphere*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1986.

- HOLLING, C. S., SCHINDLER, D. W., WALKER, Brian W. & ROUGHGARDEN, Jonathan. Biodiversity in the functioning of ecosystems: an ecological synthesis. In: PERRINGS, Charles, MÄLER, Karl-Göran, FOLKE, Carl, HOLLING, C. S. & JASSON, Bengt-Owe. *Biodiversity loss: economic and ecological issues*. Cambridge Inglaterra: Cambridge University Press, 1995, p. 44-83.
- MEADOWS, D. H., MEADOWS, P. L. RANDERS, J. & BEHRENS III, W. W. *The limits to growth*. Nova Iorque: Universe, 1972.
- MUELLER, Charles C. O pensamento econômico e o meio ambiente: bases para uma avaliação das principais correntes da economia ambiental. Brasília: Instituto Sociedade População e Natureza, *Documento de Trabalho 35*, dezembro de 1994.
- _____. Economia e meio ambiente sob o prisma do mundo industrializado: uma avaliação da economia ambiental neoclássica. São Paulo, *Estudos Econômicos*, v. 26, n. 2, p. 261-304, maio/ago. 1996.
- NORGAARD, Richard. The case for methodological pluralism. *Ecological Economics*, v. 1, p. 37-57, 1989.
- PERRINGS, Charles. *Economy and environment - A theoretical essay on the interdependence of economic and environmental systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- PERRINGS, Charles, MÄLER, Karl-Göran, FOLKE, Carl, HOLLING, C. S. & JASSON, Bengt-Owe. Introduction: framing the problem of biodiversity loss. In: PERRINGS, MÄLER, FOLKE, HOLLING & JASSON (coords.), *Biodiversity loss: economic and ecological issues*. Cambridge Inglaterra: Cambridge University Press, 1995, p. 1-18.
- PRIGOGINE, Ilya. *Etude thermodynamique des phénomènes irréversibles*. Thèse d'agregation présentée à la faculté des sciences de l'Université Libre de Bruxelles em 1945. Paris: Dunod, 1947.
- PRIGOGINE, Ilya & STENGERS, Isabelle. *Order out of chaos: man's new dialogue with nature*. Nova Iorque: Bantam Books, 1984.
- SOLOW, Robert. The economics of resources and the resources of economics. *American Economic Review*, LXIV, 2, p. 1-14, maio 1974.
- WORLD BANK. *World Development Report 1992 - Development and the environment*. Nova Iorque: Oxford University Press, 1992.
- YOUNG, Jeffrey T. Is the entropy law relevant to the economics of natural resources scarcity? *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 21, p. 169-179, 1991.

(Recebido em fevereiro de 1999. Aceito para publicação em novembro de 1999).