

# LIMITES BIOFÍSICOS AO CRESCIMENTO DA ECONOMIA: 50 ANOS DEPOIS

Boletim n. 41/ 2022 -  
ISSN 1983-1072

Entropy Law and the  
Economic Process

**Nicholas Georgescu-Roegen**

**THE LIMITS  
to  
grow**

**Donella H. Meadows**

**Dennis L. Meadows**

**Jørgen Randers**

**William W. Behrens III**

**A Report for THE CLUB OF ROM**

# DIRETORIA EXECUTIVA NACIONAL - Sociedade Brasileira de Economia Ecológica

BEATRIZ MACCHIONE SAES - PRESIDENTE  
CLÓVIS CAVALCANTI - PRESIDENTE DE HONRA  
ANDREI DOMINGUES CECHIN - VICE-PRESIDENTE  
TERESA BEZERRA MEIRA - TESOUREIRA  
MARIA CECÍLIA LUSTOSA - SECRETÁRIA  
PAULA BERNASCONI - SECRETÁRIA SUPLENTE  
LUCAS FERREIRA LIMA - REPRESENTANTE DOS DIRETORES REGIONAIS

## DIRETORIAS REGIONAIS

### NÚCLEO NORTE

LARISSA CHERMONT  
PHILIP FEARNSIDE  
TIAGO BARCELOS  
ZILDA DOS SANTOS

### NÚCLEO NORDESTE

ANDERSON ARAÚJO  
JOSÉ ATTAYDE  
LEONARDO MORAES

### NÚCLEO CENTRO-OESTE

JOSEPH SAMSON WEISS  
LEOPOLDO JUNIOR

### NÚCLEO SUDESTE

BRUNO PUGA  
DANIEL CAIXETA  
DANIELA SILVA  
LAYZA SOARES  
LUCAS LIMA  
MARCOS VIANNA FRANCO  
PAULO CARVALHO  
PEDRO CAMARGO

### NÚCLEO SUL

CARINE VIEIRA  
CLITIA MARTINS  
JUNIOR RUIZ GARCIA  
RODRIGO MACEDO  
VALDIR DENARDIN  
MARIA GULLO

### CONSELHO FISCAL

ADEMAR ROMEIRO  
FREDERICO BARCELLOS  
MARIA AMÉLIA ENRIQUEZ  
PETER MAY

### EDITOR DESTA EDIÇÃO ESPECIAL

BEATRIZ SAES

O pagamento da anuidade conjunta é realizado por intermédio da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica (ISEE) ou através do seu site ([www.isecoeco.org](http://www.isecoeco.org)), ou através da própria ECOECO.

Formas de pagamento e maiores informações na página de filiação da ISEE (<http://theisee.wildapricot.org/>) ou no site da ECOECO ([www.ecoeco.org.br](http://www.ecoeco.org.br))

Projeto gráfico - Boletim 41  
Sara A. de Paula  
[sara12app@gmail.com](mailto:sara12app@gmail.com)

Capa: Imagem de domínio publico.

# Sumário

4

NOTA EDITORIAL  
BEATRIZ MACCHIONE SAES

8

LIMITES DO CRESCIMENTO, REESTRUTURAÇÃO  
TERRITORIAL-PRODUTIVA E O DILEMA DA HUMANIDADE  
LEANDRO DIAS DE OLIVEIRA

17

LEGADOS DE UM DUPLO JUBILEU DE OURO E O  
REENQUADRAMENTO ECOLÓGICO DO PROCESSO ECONÔMICO  
ROSANA CORAZZA

27

NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN E A HISTÓRIA DO  
PENSAMENTO ECONÔMICO-ECOLÓGICO  
MARCO VIANNA FRANCO

35

50 ANOS DE “THE ENTROPY LAW AND THE ECONOMIC PROCESS”  
ANDREI CECHIN

45

BREVES APONTAMENTOS SOBRE ESTUDOS DE  
METABOLISMO SOCIOECONÔMICO  
LAYZA DA ROCHA SOARES

51

MUDANÇA CLIMÁTICA: UMA REALIDADE DRAMÁTICA  
CLOVIS CAVALCANTI E FRANCINETE LACERDA

56

O DEBATE SOBRE DESEMPENHO SOCIOECONÔMICO,  
COMPLEXIDADE ECONÔMICA E PERFORMANCE AMBIENTAL  
MARCELO SILVA SIMÕES E DANIEL CAIXETA ANDRADE

65

A LEI DA ENTROPIA E OS LIMITES AO CRESCIMENTO. A  
SOCIEDADE DE CONSUMO SUSTENTÁVEL  
ADEMAR RIBEIRO ROMEIRO

75

CONFLITOS ECOLÓGICOS E LFFU  
JOAN MARTÍNEZ-ALIER

## EDITORIAL: LIMITES BIOFÍSICOS AO CRESCIMENTO DA ECONOMIA, 50 ANOS DEPOIS

Beatriz Macchione Saes [1]

O presente volume do Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica celebra e faz um balanço de duas obras que tiveram e ainda têm grande importância para a economia ecológica. A primeira, *The Entropy Law and the Economic Process*[2], publicada em 1971, elaborou uma contundente crítica às premissas da economia neoclássica a partir da Segunda Lei da Termodinâmica. Ao longo do livro, o matemático e economista Nicholas Georgescu-Roegen constituiu as bases de uma nova forma de observar e analisar as transformações econômicas, que foram fundamentais para a própria origem da economia ecológica. A segunda obra, *Limites do Crescimento*[3], também conhecida como Relatório Meadows, publicada no ano seguinte, tornou-se um marco importante do debate ambiental dos anos 1970. O relatório, produzido por pesquisadores do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts) sob a coordenação de Donella Meadows, simulava as consequências ambientais de se manter a trajetória de crescimento econômico daquele período pelo próximo século. Os resultados das simulações matemáticas apontavam para cenários futuros catastróficos e indicavam, como forma de evitá-los, a necessidade de zerar o crescimento.

Embora as abordagens e propósitos das obras difiram muito entre si, a questão sobre a existência de limites ambientais ao crescimento econômico é importante ponto de partida das reflexões nelas contidas e está presente nas leituras, interpretações e discussões movidas por elas até hoje. Não à toa elas despertam grande interesse entre pesquisadores da economia ecológica, que sempre refletiram sobre

essa questão e frequentemente consideraram como absurda a ideia de que a economia pudesse crescer de forma indefinida. E essa questão é talvez hoje mais importante do que nunca. Entendemos, portanto, que revistar as duas obras é mais do que celebrar os 50 anos das publicações; é refletir, à luz dos problemas e desafios do presente, avanços, limites, alternativas e novas questões que podem ser levantadas por elas. Acreditamos que os autores convidados para esse volume, especialistas e grandes pesquisadores desses temas, fizeram um ótimo trabalho nesse sentido.

No primeiro artigo, **Leandro Dias de Oliveira** faz um novo balanço de *Limites do Crescimento* [4]. O artigo desenvolve um paralelo entre contradições presentes na obra e na construção, ao longo das décadas posteriores, da concepção de desenvolvimento sustentável, que se refletem na busca de uma conciliação entre ecologia e economia. Apesar de suas conclusões catastróficas, o autor nos recorda que o relatório, um estudo financiado por grandes empresários e a partir de um ponto de vista ocidental, propõe, ao final, limitar o crescimento, mas não alterá-lo ou democratizá-lo. O contexto posterior de ascensão do neoliberalismo e de reestruturação territorial-produtiva tendeu a reforçar um modelo de desenvolvimento sustentável compatível com o interesse de grandes corporações, setores financeiros e países centrais. Apesar dessas contradições e dificuldade de avanço de uma agenda ambiental mais ambiciosa e transformadora, o artigo conclui que *Limites do Crescimento* é ainda uma obra fundamental e capaz de levantar

questionamentos importantes ao modelo de desenvolvimento hegemônico.

Em seguida, **Rosana Icassatti Corazza** faz uma discussão detalhada da obra de Georgescu-Roegen, mostrando as implicações fundamentais de se analisar o processo econômico enquanto um processo entrópico. Em particular, relembra que a termodinâmica deveria interessar a todo economista, já que seus princípios, como mostra Georgescu, são fundamentais para a compreensão da natureza da escassez – um conceito central para a economia – e apontam, em consequência, para os limites da tecnologia em superar a inevitável e irrevogável dissipação de energia ou desorganização da matéria no processo econômico. Diante desta impossibilidade, o artigo reflete sobre a necessidade de repensar a economia, a finalidade do processo econômico e, no limite, o objetivo ou o próprio crescimento econômico. Ao final, a autora mostra como a obra de Georgescu, somada ao importante avanço do conhecimento científico relacionado à temática ambiental nos últimos cinquenta anos, pode contribuir para embasar o debate científico sobre “sustentabilidade”, que tem se tornado fundamental diante do agravamento da crise ambiental.

Ainda que Georgescu nunca tenha se considerado um economista ecológico, *The Entropy Law and the Economic Process* é obra fundamental para a constituição da economia ecológica. Esse ponto é explorado no artigo de **Marco Vianna Franco**, que vai além ao apresentar a obra como um esforço teórico ambicioso e coerente com o pensamento econômico-ecológico. Este é definido pelo autor como “como um conjunto de ideias que se debruçam sobre sistemas naturais e sociais de forma ontologicamente interconectada” (Franco, neste volume, p. 27-34). O livro de Georgescu seria um

“representante emblemático” desse pensamento pela sua interdisciplinaridade forte e sua visão orgânica e integrada dos mundos natural e social – expressas na própria relação entre a lei da entropia e o processo econômico. Em consonância com as conclusões de Corazza, o artigo mostra como resgatar e discutir a sua visão entrópica do processo econômico é também refletir sobre os desafios epistemológicos atuais para a compreensão dos sistemas sócio-ecológicos.

**Andrei Cechin** também explora, na segunda parte de seu artigo, implicações epistemológicas da obra de Georgescu-Roegen, enfatizando em especial a perspectiva evolucionária que resulta de sua análise entrópica – aspecto possivelmente subestimado, como sugere o artigo, por economistas ecológicos. Nessa perspectiva, a atividade econômica, que é caracterizada por mudanças qualitativas irreversíveis, tem por objetivo a criação de ordem nesse subsistema aberto que é a economia, e o mecanismo que permite aprimorar esse processo é a evolução. A outra implicação do *The Entropy Law and the Economic Process*, discutida por Cechin na primeira parte do artigo, é mais familiar entre economistas ecológicos, trata-se de uma implicação física: a perspectiva metabólica do processo produtivo. Esta perspectiva fundamenta a famosa visão da economia como um subsistema do meio ambiente, dependente, portanto, da entrada de materiais e energia e de um fluxo de saída de resíduos e calor dissipado. Ela também aponta para a noção de limites biofísicos ao crescimento econômico – embora isso não signifique necessariamente que Georgescu fosse ele próprio um defensor do decrescimento, como explorado por Cechin na parte final do artigo.

A perspectiva metabólica do processo produtivo é, em seguida, aprofundada por **Layza Soares**. A autora discute a importância das pesquisas sobre metabolismo socioeconômico a partir de uma revisão da literatura que utiliza o método da Contabilidade de Fluxo Material. Ela mostra como este método permite calcular indicadores dos fluxos materiais em uma economia – em particular, as quantidades físicas de *inputs* da economia (extração de biomassa, combustíveis fósseis, minérios e minerais e importações), os estoques que se acumulam nela, e os *outputs* que vão para a natureza ou outras economias (exportações, resíduos e emissões) –, contribuindo para iluminar a dimensão biofísica da economia. A última parte do artigo é dedicada a apresentar análises empíricas aplicadas às economias latino-americanas. Conclui-se sobre a importância destas análises para o estudo de modelos de desenvolvimento, em especial quando combinadas com contribuições da economia e ecologia política.

Desde que *Limites do Crescimento* e *The Entropy Law and the Economic Process* foram escritos, novos impactos ambientais se tornaram ou passaram a ser percebidos como mais críticos à humanidade. Hoje, reconhece-se que os limites físicos e termodinâmicos do crescimento talvez não estejam tão relacionados com o esgotamento das matérias-primas, como aparecia no Relatório Meadows, mas muito mais com a destruição de serviços ecossistêmicos, tal qual a capacidade de absorção dos resíduos do processo econômico. **Clóvis Cavalcanti e Francinete Francis Lacerda** discutem o limite relacionado à capacidade de absorção de gases de efeito estufa que é foco de grande preocupação atualmente: as mudanças climáticas. O autor e a autora analisam o recente

relatório do IPCC (sigla em inglês do Painel Intergovernamental da Mudança Climática), que aponta para o agravamento do aquecimento climático, o aumento da frequência de eventos extremos e a necessidade de ações urgentes para evitar um futuro ainda mais crítico. Por fim, o artigo enfatiza a importância das obras celebradas neste volume diante da necessidade de compreender e enfrentar os desafios ambientais atuais, o que passa necessariamente por pensar, num contexto de um novo projeto civilizatório, em uma economia que respeite os limites da natureza.

**Marcelo Simões e Daniel Caixeta Andrade** buscam explorar desdobramentos mais recentes do debate sobre crescimento econômico e preservação ambiental, especialmente aqueles voltados à compreensão da relação entre complexidade econômica e desempenho ambiental. Os autores discutem criticamente as evidências de correlação entre sofisticação do tecido produtivo e melhoria dos indicadores de qualidade ambiental. Eles mostram que esta evidência de *decoupling*, que sustenta a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental, não é encontrada para todos indicadores ambientais nem é generalizável para economias que possuem estruturas diferentes. A análise do artigo indica que maior complexidade econômica tende a estimular o *decoupling* de impacto, mas não o *decoupling* relacionado ao uso de recursos. Além disso, o *decoupling* ocorre em ritmos diferentes para países com estruturas diferentes – ele é mais lento ou inexistente para países menos complexos. Por fim, o artigo conclui que complexificar a estrutura econômica é importante e deve ser foco de políticas públicas para melhorar o desempenho ambiental de países em desenvolvimento, mas não pode ocorrer

sem a devida atenção e respeito aos limites ecossistêmicos.

O artigo de **Ademar Romeiro** aponta, em primeiro lugar, a necessidade de estabilização do crescimento econômico (medido pelo aumento da produção material/energética per capita) em nível compatível com a capacidade de suporte do planeta terra. Em segundo lugar, indica a possibilidade de atingir tal objetivo a partir de uma sociedade de consumo sustentável, compatível com uma economia capitalista. O primeiro argumento é desenvolvido a partir de uma análise detalhada dos fundamentos teóricos da economia ecológica, baseados em grande medida na obra de Georgescu-Roegen e na continuidade de seu legado por Herman Daly, que também criticou premissas da economia neoclássica à luz da lei da entropia. Segundo o autor, diante do agravamento da crise ambiental, mesmo os defensores do desenvolvimento sustentável têm se aproximado da posição de economistas ecológicos a respeito do crescimento econômico. O segundo argumento, por sua vez, é sustentado pela hipótese de aumento da consciência ecológica na medida em que a escassez de meio ambiente se torna mais importante do que a escassez de bens e materiais. O autor não descarta, no entanto, as diferentes dificuldades para superação de inércias sociais e a necessidade de transformações econômicas e sociais importantes, inclusive a partir de políticas macroeconômicas ecológicas.

Ao invés de olhar para a mudança de incentivos pelo lado da demanda, o último artigo do economista ecológico catalão **Joan Martínez-Alier** mostra o potencial dos movimentos de resistência em alterar a própria oferta da economia. Esses movimentos de resistência emergem de Conflitos Ecológicos Distributivos, termo cunhado pelo próprio autor para

ênfatar a distribuição desigual ou injusta de bens e danos ambientais[5]. Porque a economia é entrópica e depende de um fluxo de entrada de materiais e energia, há uma constante expansão das fronteiras de extração de novos materiais e de destinação de resíduos. Em muitos casos, resistências e denúncias locais contra a expansão dessas fronteiras podem convergir com uma perspectiva global relacionada a temáticas ambientais. O artigo mostra isso enfatizando a importância da oposição local à extração, transporte e queima de combustíveis fósseis em um contexto em que se faz necessário reduzir rapidamente a emissão de gases de efeito estufa. Esses movimentos de resistência promovem a ideia de *Leave fossil fuels underground* (Deixar os Combustíveis Fósseis no Subsolo), que dá título ao artigo, somando esforços com organizações, profissionais e cientistas preocupados com as mudanças climáticas.

### Boa leitura!

**Beatriz Saes**

[1] Professora da EPPEN-UNIFESP e presidente da ECOECO

[2] GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The Entropy Law and the Economic Process**. Cambridge: Harvard University Press, 1971.

[3] MEADOWS, Donella H. *et al.*. **Limites do Crescimento: Um relatório para o projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1973 [1972].

[4] Sugerimos a leitura do balanço anterior publicado pelo autor há dez anos, intitulado “Os Limites do Crescimento 40 anos Depois: Das Profecias do Apocalipse Ambiental ao Futuro Comum Ecológicamente Sustentável” (Revista Continentes, 2012, p. 72-96).

[5] Ver MARTINEZ-ALIER, Joan. **The Environmentalism of the Poor**. A Study of Ecological Conflicts and Valuation. Edward Elgar, Cheltenham, 2002.

## LIMITES DO CRESCIMENTO, REESTRUTURAÇÃO TERRITORIAL-PRODUTIVA E O DILEMA DA HUMANIDADE

Leandro Dias de Oliveira[1]

“La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri sono triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un'oscuro laberinto”. [2]

GALILEI, Galileo. **Il saggiaiore**. Roma: Antenore, 2005 [1623].

“A ligação entre saber e poder é inerente ao sistema dominante porque, enquanto quadro de referência conceitual, está associado a uma série de valores baseados no poder que surgiu com a ascensão do capitalismo comercial. A forma como esse saber é gerado, estruturado e legitimado e a forma pela qual transforma a natureza e a sociedade gera desigualdades e dominação, e as alternativas são privadas de legitimidade”.

SHIVA, Vandana. **Monoculturas da mente**: perspectiva da biodiversidade e da biotecnologia. São Paulo: Gala, 2003 [2002].

### INTRODUÇÃO

*Limites do Crescimento: Um relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o Dilema da Humanidade (The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind)* é uma importantíssima publicação escrita por Dennis L. Meadows, Donella H. Meadows, Jørgen Randers e William W. Behrens III editada no ano de 1972. Trata-se de um longo estudo crítico ao *crescimento exponencial*, realizado por uma equipe do MIT (Instituto Tecnológico de Massachussets) [3], sob encomenda do Clube de Roma.

O Clube de Roma é uma organização fundada pelo industrial italiano Aurelio Peccei, para quem *Limites do Crescimento* é dedicado [4]. Peccei era presidente do Comitê Econômico da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) e possuía experiências como executivo da Fiat e da Olivetti, além de ser

autor do livro “*The Chasm Ahead*” (1969). O Clube de Roma é uma espécie de *think tank* fundado em 1968 como um grupo informal de trinta economistas, cientistas, educadores e industriais num encontro na capital italiana. Já em 1970 esse clube possuía 75 membros de 25 países, com o objetivo de pensar o sistema global e encorajar novas atitudes, entre os quais o combate à degradação ambiental. O Clube de Roma ([www.clubofrome.org](http://www.clubofrome.org)) permanece ativo, possuindo como membros efetivos personalidades como Mikhail Gorbachev, a rainha Beatrix Wilhelmina Armgard, da Holanda, e os brasileiros Fernando Henrique Cardoso e Candido Mendes. Jay W. Forrester, engenheiro de computação que foi precursor do modelo da Dinâmica de Sistemas que fundamentaria *Limites do Crescimento*, foi membro pleno até 2016, ano de sua morte. Os trabalhos do Clube de Roma sempre contaram com o financiamento da Fundação Volkswagen, da FIAT,

da Fundação Ford, da Royal Dutch Shell, da Fundação Rockefeller, entre outras (REBÊLO Jr., 2002), e suas proposições permanecem importantes.

*Limites do Crescimento* teve singular importância para a problemática ambiental contemporânea, principalmente pela imensa divulgação internacional que acabou por colocar a questão ecológica na agenda política mundial (OLIVEIRA, 2012; 2019), mas também por trazer “para o primeiro plano da discussão problemas cruciais que os economistas do desenvolvimento econômico sempre deixaram à sombra” (FURTADO, 1998, p. 09). Tratou-se, desde o início, de um trabalho com pretensões abrangentes de controle dos problemas globais, de crítica ao modelo de desenvolvimento ambientalmente avassalador e de exaltação da eficácia de modelos matemático-conceituais aplicáveis na solução das questões complexas, difíceis e de diferentes escalas temporais e espaciais. *Limites do Crescimento* não é exatamente a editoração detalhada e técnica do relatório produzido pela equipe presidida por Dennis Meadows, mas uma síntese palatável para o grande público, escrita para extravasar os códigos computacionais e a sofisticada linguagem matemática utilizada nas investigações.

Como já foi alentado, *Limites do Crescimento* é uma obra polêmica (TURNER, 2008), pessimista (RATTNER, 1979; TIETENBERG, 2000), neopositivista (PORTO-GONÇALVES, 1985), malthusiana (DROUIN, 2008), catastrofista e apocalíptica (MCCORMICK, 1992). Mas, após cinquenta anos de sua publicação, quais as lições que a obra *Limites do Crescimento* ainda têm a oferecer? Como uma profecia do apocalipse ambiental, seu reexame permanece como missão necessária mesmo após meio século. Entre limites e perspectivas, o objetivo deste artigo é realizar uma breve reflexão sobre *Limites do Crescimento* à luz

das mudanças produtivas recentes, em especial sob o olhar da Geografia Econômica.

### DILEMA DA HUMANIDADE: CRESCIMENTO EXPONENCIAL E OS LIMITES DO CAPITALISMO[5]

A obra *Limites do Crescimento*, âncora da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, Suécia, em 1972 (BRAUN, 2005), é um estudo de importância peculiar na questão ambiental. Isto se deve, destacadamente: (i) ao pioneirismo no que se refere à relação meio ambiente e desenvolvimento econômico no debate geopolítico contemporâneo; (ii) à consolidação, no âmbito acadêmico-universitário, da questão ambiental, uma vez que se multiplicou o número de trabalhos envolvendo a temática; e (iii) a sua dimensão global de divulgação, pois suas conclusões atingiram diferentes públicos e colocaram definitivamente a problemática ambiental na pauta dos assuntos cotidianos.

Ademais, é um ambicioso estudo realizado por meio de modelos informáticos [6] sobre as tendências ambientais do mundo. Com pobreza em meio à abundância, expansão urbana, industrial e econômica descontroladas e deterioração ambiental, apresentou-se como questão o “dilema da humanidade”:

“o homem pode perceber a problemática e, no entanto, apesar de seu considerável conhecimento e habilidades, ele não compreende as origens, a significação e as correlações de seus vários componentes e, assim, é incapaz de planejar soluções eficazes” (WATTS, 1978, p. 12) [7].

A fome, a poluição e o crescimento demográfico eram os vilões num futuro sombrio, causado especialmente pelo crescimento exponencial, marcado pela forma rápida e incrível de constante duplicação. McCormick (1992) assim sintetiza as conclusões do *Limites*: (i) se a tendência do crescimento da população se mantivesse, os limites do planeta seriam atingidos em 100 anos; (ii) era possível alterar esta tendência através de uma possibilidade sustentável de estabilização econômico-ecológica; e (iii) as pessoas deveriam o mais rapidamente possível adotar como meta a perspectiva de estabilização, para lograr sucesso nesta empreitada (OLIVEIRA, 2012). A solução seria, portanto, a contenção-limitação do crescimento e a busca do equilíbrio global, que, numa perspectiva a partir da relação centro-periferia, limitando o crescimento “condenaria a maioria dos países da Terra a situações de permanente subdesenvolvimento” (LEMOS, 1991, p. 4).

E afinal, *como* limitar o crescimento exponencial do capitalismo? Como já afirmamos anteriormente (OLIVEIRA, 2012), o “crescimento zero” é um raciocínio demasiado simplista (PERROUX, 1981), e se tratou de uma proposta que só teria sentido para os países ricos (SINGER, 1992 [1988]) como manutenção da pressão centro-periferia. Se o desenvolvimento não é compatível com o crescimento zero, sob o viés político-econômico significava um embrutecimento na relação Norte-Sul, com o esmagamento das pretensões dos países periféricos [8]. Assim, se não se mostrava sincera ou factível a proposta de limitação do crescimento econômico, como seria possível promover mudanças produtivas em prol do meio ambiente?

## LIMITES DO CRESCIMENTO EM TEMPOS DE REESTRUTURAÇÃO TERRITORIAL-PRODUTIVA

Não seria exagero aproximar as proposições de equilíbrio global contidas em *Limites do Crescimento* com a construção do termo desenvolvimento sustentável; há inclusive a proposição de um sistema mundial que seja “sustentável, sem colapso inesperado e incontrolável” (MEADOWS, 1978, p. 155). Encontramos também na obra um receituário ambientalmente importante e depois celebrado mundialmente, que inclui coleta de resíduos e reciclagem, planejamento para maior durabilidade dos produtos, utilização de energia solar e controle natural de pragas (MEADOWS, 1978, p. 174). Todavia, a operação geopolítica que culminou na concepção de desenvolvimento sustentável preconizou uma estratégia dominante de conciliação entre economia e ecologia que somente pode ser compreendida em consonância à consolidação do neoliberalismo, que se tornaria hegemônico posteriormente. Não se tratará, a partir de então, de *limitação* do crescimento, mas de seu *estímulo*, por meio da celebração da natureza enquanto recurso valioso, rarefeito e territorializado [9], inserida em um mercado mundial aberto e de livre negociação de produtos, tecnologias, investimentos e mesmo rejeitos e contaminantes.

Todavia, *Limites do Crescimento* inaugurou uma era de proposição de *ajustes ambientais*. Nesse sentido, reforçamos que o desenvolvimento sustentável compreende uma racionalidade instrumental da natureza, na condição de matéria-prima, recurso e combustível. Utilizar as riquezas naturais sem esgotá-las, criar tecnologias não-poluentes e produzir uma disciplinaridade ambiental de caráter político, econômico e social se tornaram demandas

indiscutíveis da atualidade. O desenvolvimento sustentável se inseriu no cerne das necessidades produtivas deste novo século como parte integrante da reestruturação territorial-produtiva contemporânea.

Desde a década de 1970 vem ocorrendo um processo de reestruturação territorial-produtiva, que pode ser compreendida como os reajustes que envolvem desde uma nova disciplina do trabalho, o encolhimento e espraiamento global das plantas fabris até as novas rotinas espaciais de fixos e fluxos. Nossos esforços de investigação, no campo da Geografia Econômica, têm apontado que, se tal reestruturação tem promovido desde mudanças nos estoques e no tempo de produção à flexibilidade do trabalho (HARVEY 1989; HOOGVELT, 1997), também tem ocorrido uma gradativa adoção de mecanismos de proteção ambiental por parte dos empreendimentos produtivos, ainda que de forma seletiva e com diferentes ritmos e resultados nem sempre profícuos. Acreditamos que tão importante quanto a industrialização das periferias do mundo, ou a formação de clusters produtivos e a métrica de *spill-overs* de conhecimento (SCOTT, STORPER 1986; STORPER, WALKER, 1989; SCOTT, 1993; STORPER, 1997; STORPER, VENABLES, 2005), tem sido a proteção da natureza como recurso e a adoção dos pressupostos do desenvolvimento sustentável.

É fulcral associar a adoção da proteção da natureza como fator econômico às mudanças ocorridas no universo da fábrica. No decorrer do século XX, ao mesmo tempo que emergem os movimentos ambientalistas e partidos ecológicos, também se acelera a tecnificação em larga escala (HABERMAS, 2014 [1968]) e emergem as formas flexíveis de produção (HARVEY, 2004 [1989]; HOOGVELT, 1997). A complexa transição do

fordismo para um modelo entendido como flexível se mostra bastante precisa a partir dos paradigmas de sustentabilidade: passa a ser hegemônica a compreensão da demanda qualificada de estoques de natureza, numa espécie de aplicação nos recursos naturais ao modo *just-in-time*.

As grandes corporações criam, assim, o modelo de desenvolvimento sustentável à sua semelhança [10], passando a destacar que riquezas da natureza devem ser protegidas, de maneira que os cuidados com rios, lagos, áreas florestais, parques etc. começaram a ser adotados como parte da responsabilidade social da empresa. As necessidades de mudança na matriz energética, a defesa de estoques de recursos advindos da natureza e o próprio uso instrumental dos espaços naturais só revelam o quão o processo de adequação ecológica e acolhimento de concepções como desenvolvimento sustentável sempre estiveram atavicamente relacionados ao processo de reestruturação produtiva do capital.

Em nossa análise, não deve ser desprezado o fato de que são figuras expressivas dos negócios mundiais que encomendaram as investigações de *Limites do Crescimento* a uma série de pesquisadores renomados de uma universidade historicamente vinculada às demandas da industrialização. De outro modo, trata-se de um estudo realizado a partir do fomento de grandes empresários, pensado a partir do crescimento econômico, com brutal enfoque neomalthusiano [11] e finalmente dedicada a um grande homem de negócios. Um estudo realizado sob encomenda de um sofisticado *clube*, fundado em uma cerimônia na propriedade da família Rockefeller em Bellagio, Itália. Trata-se de um estudo técnico feito incontestavelmente de forma competente, mas cujos antídotos não se diferem profundamente dos venenos: a razão técnico-tecnológica, o protagonismo dos homens de negócios, o ponto de

partida no mundo ocidental, rico, desenvolvido, branco e masculino, a proposição de limitar o crescimento e não alterá-lo e democratizá-lo e o silenciamento de vozes periféricas, de sociedades tradicionais e cujos saberes não possuem patentes, selos de confiança e publicação normatizada.

Destarte, a adoção do desenvolvimento sustentável significou a privatização de territórios, a plena financeirização da natureza e a criação de arranjos

periféricos do mundo em suas múltiplas escalaridades.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Galilei Galileu, em sua genialidade, nos convoca a pensar a natureza como uma grande aula de matemática do mundo. *Limites do Crescimento* segue essa fórmula, com grande originalidade no uso de modelagem computacional em tempos os quais os recursos informáticos ainda eram poucos. Recentemente, Graham Turner (2008) publicou um trabalho bastante detalhado que concluiu: *Limites do Crescimento* é uma aula de matemática muito bem realizada, em contraposição às alegações injustas e acusações infundadas sobre a maior ou menor distância temporal para o anunciado apocalipse ambiental. Segundo o mesmo autor, os dados históricos são favoravelmente comparáveis ao resultado do modelo e oferecem suporte à conclusão de que o sistema global está em uma trajetória insustentável, a não ser que haja uma redução substancial e rápida no comportamento de consumo em combinação com o progresso tecnológico.

O maior problema é que o dilema da humanidade apresentado em *Limites do Crescimento* não é

ambientais em escala global como um grande negócio; portanto, não rompeu com a civilização industrial, seus anátemas e implicações territoriais. E, de maneira mais contundente, no que temos intitulado de *ecologia política da industrialização periférica*, tem significado, em meio a agendas ambientais difusas e constituídas ao sabor do próprio empreendimento, a efetivação de verdadeiras zonas de sacrifício socioambiental nas

plenamente processado em *hardwares* de grande capacidade e *softwares* avançados programáveis por pesquisadores renomados. Vandana Shiva lembra que o saber carrega consigo as estruturas de poder e de valores e que, sob as amarras dos modelos dominantes, deslegitima formas alternativas de transformação da natureza. “Passamos a medir o crescimento não em termos de como a vida é enriquecida, mas em termos de como a vida é destruída”, nos ensinou a mesma Vandana Shiva no filme *Planet of the Humans*, de 2019 [12]. Mais que lições de matemática, precisamos entender os limites do modelo de desenvolvimento à luz de um infinito de campos científicos, saberes de diferentes ancestralidades e interesses de populações de diferentes partes do mundo.

Ainda assim, *Limites do Crescimento* permanece como uma importante leitura em tempos de desenvolvimento ilimitado-avassalador, especialmente num país como o Brasil, onde atualmente se promove a ideia da natureza como obstáculo ao progresso e se saúda a poluição atmosférica, a construção de rodovias em áreas verdes, o aquecimento global, os agrotóxicos em geral e a dissolução das reservas indígenas. Em meio a uma agenda de retrocessos, obras com *Limites do Crescimento*, com todos os seus limites, não deixam

de ser um convite a se pensar o modelo de desenvolvimento hegemônico de forma crítica, desconfiada e política.

[1] Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. Doutor em Geografia pela UNICAMP e Pós-Doutor em Políticas Públicas e Formação Humana pela UERJ. Professor Associado II do Departamento de Geografia e dos quadros permanentes do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO) e Interdisciplinar em Humanidades Digitais (PPGIHD) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Coordenador de Pesquisa da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFRRJ. Líder do Grupo de Pesquisa Reestruturação Econômico-Espacial Contemporânea, vinculado ao Laboratório de Geografia Econômica, Política e Planejamento. Página pessoal: [r1.ufrrj.br/geografiaseconomica](http://r1.ufrrj.br/geografiaseconomica). E-mail: [leandrodias@ufrrj.br](mailto:leandrodias@ufrrj.br). Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7257-0545>.

[2] *“A filosofia [ciência] está escrita neste grande livro que está continuamente aberto diante de nossos olhos (eu digo o universo), mas não pode ser entendida a menos que você primeiro aprenda a compreender a linguagem e conhecer os caracteres em que está escrita. Ele está escrito em linguagem matemática, e os caracteres são triângulos, círculos e outras figuras geométricas, sem o que significa que é humanamente impossível entender uma palavra deles; sem isso, é inútil vagar por um labirinto escuro”* (Tradução livre)

[3] O MIT é uma universidade privada localizada em Cambridge, fundada em 1861 no âmbito da crescente industrialização dos Estados Unidos, com o intento de promover conhecimentos em ciências aplicadas e engenharia. Com o lema do MIT é *“mens et manus”* (“mente e mão”), significando a fusão do conhecimento acadêmico com o propósito prático ([www.mit.edu](http://www.mit.edu)), não deixa de ser representativo que a instituição tenha produzido um importante debate sobre crescimento econômico e populacional.

[4] *“To Dr. Aurelio Peccei, whose profound concern for humanity has inspired us and many others to think about the world's long-term problems”* (MEADOWS *et al.*, 1972).

[5] Para aprofundamento das reflexões contidas nesta seção, consultar: DE OLIVEIRA, Leandro Dias. Os Limites do Crescimento 40 anos Depois: Das Profecias do Apocalipse Ambiental ao Futuro Comum Ecologicamente Sustentável. **Revista Continentes**, v. 1, p. 72-96, 2012. Disponível em:

<https://www.revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/8>. Acesso em: 13 dez. 2021.

[6] O World 1, 2 e 3, baseados no método da dinâmica de sistemas de Forrester. É oportuno citar McCormick (1992), que destaca que a crítica mais severa ao relatório advém de uma pesquisa advinda da Universidade de Sussex, na Grã-Bretanha, que afirmava que o maior erro do relatório consistia no “fetichismo do computador”, uma vez que os limites do crescimento são mais políticos e sociais que econômicos, o progresso técnico não deveria ser subestimado e há um limite na abordagem da dinâmica de sistemas.

[7] As palavras são de William Watts, ex-oficial da inteligência da Força Aérea norte-americana e ex-secretário da equipe do Conselho de Segurança Nacional do presidente Richard M. Nixon, que assina o prefácio, na condição de então presidente e fundador da Potomac Associates, consórcio americano de quatro firmas de consultoria política e corresponsável pela publicação do livro. Consultar: [https://www.washingtonpost.com/local/obituaries/william-watt-s-political-analyst-dies-at-83/2013/10/19/01197c08-31cd-11e3-8627-c5d7de0a046b\\_story.html](https://www.washingtonpost.com/local/obituaries/william-watt-s-political-analyst-dies-at-83/2013/10/19/01197c08-31cd-11e3-8627-c5d7de0a046b_story.html). Acesso em: 12 dez. 2021

[8] Celso Furtado (1998) lembra que o espraiamento do modo de vida das populações dos países mais ricos aos países mais pobres é insustentável, de maneira que o modelo de desenvolvimento dominante a ser copiado pelas nações periféricas colocaria em risco a própria existência humana na Terra.

[9] Para uma comparação entre *Limites do Crescimento* e o *Nosso Futuro Comum* (1988), onde é construída a concepção de desenvolvimento sustentável, consultar: OLIVEIRA, 2012.

[10] Antes da celebração do desenvolvimento sustentável na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, foi organizada a 2ª. Conferência Mundial da Indústria sobre Gerenciamento Ambiental, em 1991. Nessa conferência, foi assinado um catálogo de diretrizes intitulado *“Carta Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável”* que criou e estimulou a adoção de práticas administrativas para efetivar esta nova estratégia de progresso econômico (SCHMIDHEINY, 1992). Realizada em Rotterdam, na Holanda, participaram do evento os dirigentes de mais de 700 empresas, como a General Motors, Imperial Chemical Industries, Dupont e Bayer. Outros grupos empresariais da Europa, Estados Unidos, Canadá,

Japão, Índia e Malásia também empreenderam mecanismos de regulamentação ambiental desde que não abalasses o livre comércio e o próprio desenvolvimento (OLIVEIRA, 2019).

[11] Tornou-se desde então recorrente na questão ambiental contemporânea certo apelo ao (neo)malthusianismo, uma fórmula interpretativa pobre e improfícua da realidade e historicamente nefasta por culpabilizar as populações mais pobres e periferizadas pelos problemas globais.

[12] Para uma análise do filme “Planet of the Humans”, consultar: OLIVEIRA, Leandro Dias de. Uma nova ecologia política da energia? Análise do documentário “Planet of the Humans”. **Confins**, 46, 2020. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/31201>. Acesso em: 14 dez. 2021.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAUN, Ricardo. **Novos Paradigmas Ambientais**: Desenvolvimento ao ponto sustentável. Petrópolis, RJ: Vozes, 2005.
- DROUIN, Jean-Claude. **Os Grandes Economistas**. São Paulo: Martins Fontes, 2008.
- FURTADO, Celso. **O Mito do Desenvolvimento Econômico**. 2. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1998.
- GALILEI, Galileo. **Il saggiaiore**. Roma: Antenore, 2005 [1623].
- HABERMAS, Jürgen. **Técnica e ciência como "ideologia"**. São Paulo: EUNESP, 2014 [1968].
- HARVEY, David. **Condição Pós-Moderna**: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural. 13. ed. São Paulo: Loyola, 2004 [1989].
- HOOGVELT, Ankie. **Globalization and the PostColonial World**: The New Political Economy of Development. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1997.
- LEMO, Haroldo M. de. O Homem e o Meio Ambiente. *In*: Fórum Universidade e o Desenvolvimento Sustentável. **Anais**, p. 3-12. Rio de Janeiro: Fundação MUDES, Universidade Federal Fluminense, 1991.
- McCORMICK, John. **Rumo ao Paraíso**: A História do Movimento Ambientalista. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 1992.
- MEADOWS, Donella H. *et al.* **Limites do Crescimento**: Um relatório para o projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade. São Paulo: Editora Perspectiva, 1978 [1972].
- MEADOWS, Donella H. *et al.* **The Limits to Growth**: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York: Universe Books, 1972.
- OLIVEIRA, Leandro Dias de. Os Limites do Crescimento 40 anos Depois: Das Profecias do Apocalipse Ambiental ao Futuro Comum Ecologicamente Sustentável. **Revista Continentes**, v. 1, p. 72-96, 2012. Disponível em: <https://www.revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/8>. Acesso em: 13 de Dezembro de 2021.

OLIVEIRA, Leandro Dias de. **Geopolítica ambiental: a construção ideológica do desenvolvimento sustentável (1945-1992)**. Rio de Janeiro: Autografia, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/344349857\\_Geopolitica\\_Ambiental\\_A\\_construcao\\_ideologica\\_do\\_Deenvolvimento\\_Sustentavel\\_1945-1992](https://www.researchgate.net/publication/344349857_Geopolitica_Ambiental_A_construcao_ideologica_do_Deenvolvimento_Sustentavel_1945-1992). Acesso em: 13 de Dezembro de 2021.

OLIVEIRA, Leandro Dias de. Uma nova ecologia política da energia? Análise do documentário “Planet of the Humans”. **Confins**, 46, 2020. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/31201>. Acesso em: 14 de Dezembro de 2021.

PECCEI, Aurelio. **The Chasm Ahead**. New York: Macmillan, 1969.

PERROUX, François. **Ensaio sobre a Filosofia do Novo Desenvolvimento**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1981.

**PLANET OF THE HUMANS** Direção: Jeff Gibbs. Produção: Michael Moore, Jeff Gibbs e Ozzie Zehner. Estados Unidos: Rumble Media, 2019 (100 min).

PORTO-GONÇALVES, Carlos Walter. **Os Limites do “Limites do Crescimento”**: Contribuição ao Estudo da Relação Natureza e História. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, UFRJ, Rio de Janeiro, 1985.

RATTNER, Henrique. **Planejamento e Bem-Estar Social**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1979.

REBÊLO JÚNIOR, Manoel. **O Desenvolvimento Sustentável: A Crise do Capital e o Processo de Recolonização**. 2002. 213 f. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2002.

SCOTT, Allen J. **Technopolis: High-Tecnology Industry and Regional Development in Southern California**. Berkeley: Un. of California Press, 1993.

SCOTT, Allen J.; STORPER, M. (eds.). **Production, Work, Territory**. The Geographical Anatomy of Industrial Capitalism. Boston: Allen and Unwin, 1986.

SCHMIDHEINY, Stephan. **Mudando o Rumo: Uma Perspectiva Empresarial Global sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 1992.

SHIVA, Vandana. **Monoculturas da mente: perspectiva da biodiversidade e da biotecnologia**. São Paulo: Gala, 2003 [2002].

SINGER, Paul. **Aprender Economia**. 14. ed. São Paulo: Brasiliense, 1992 [1988].

STORPER, M. **The Regional World**. Territorial Development in a Global Economy. New York: Guilford Press, 1997.

STORPER, Michael; VENABLES, Anthony. O Burburinho: a força econômica da cidade. *In*: CAMPOLINA DINIZ, Clélio; LEMOS, Mauro Borges. (Orgs.). **Economia e Território**. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2005.

STORPER, Michael; WALKER, Richard. **The Capitalist Imperative: Territory, Technology and Industrial Growth**. Oxford: Blackwell Publishing, 1989.

TIETENBERG, Tom. **Environmental and Natural Resource Economics**. Massachusetts: Addison-Wesley Longman, 2000.

TURNER, Graham M. A comparison of The Limits to Growth with 30 years of reality. **Global environmental change**, v. 18, n. 3, p. 397-411, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378008000435>. Acesso em: 13 de Dezembro de 2021.

## LEGADOS DE UM DUPLO JUBILEU DE OURO E O REENQUADRAMENTO ECOLÓGICO DO PROCESSO ECONÔMICO: O DESAFIO DA FRUIÇÃO DA VIDA

Rosana Corazza [1]

Há cinquenta anos, ganhavam a luz duas obras que nos cabe agora, neste exíguo, mas valioso espaço de seleta audiência, rememorar. Trata-se de “Limites do Crescimento”, publicado em 1972 pela equipe do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) liderada por Donella Meadows (MEADOWS *et al.*, 1972), e de “*The Entropy Law and the Economic Process*”, publicado um ano antes, por Nicholas Georgescu-Roegen (GEORGESCU-ROEGEN, 1971).

Ainda que sejam amplamente conhecidas, ainda que nem sempre suficientemente reconhecidas, não é demais retomar em alguns parágrafos o escopo de cada uma das obras e algo que nos parece significativo sobre seus contextos para, logo mais, aproveitar o ensejo desses dois jubileus de ouro para colocar algumas reflexões sobre a influência dos legados, indagando sobre sua atualidade e cujo legado nos tem cabido a muitos de nós, como economistas ecológicos e pesquisadores de áreas afins, diante das mudanças socioambientais que ameaçam essa forma de organização da vida comum que tantos dentre nós, autointitulados *sapiens*, nos habituamos a prezar e que costumamos chamar de civilização.

A sexta grande extinção está consumindo um *pool* gigantesco de informações genéticas, que são fruto, para fazer justiça ao que se conhece sobre a teoria evolucionária, de três bilhões e meio de anos de evolução. A última grande extinção, aquela que levou, dentre uma multidão de outras espécies, os sauros, que dominavam paisagens na terra, no ar e no mar, se deu há 65 milhões de anos. Das nove

fronteiras planetárias, desenhadas por Rockstrom *et al.* (2009) a partir de um descomunal esforço de síntese do trabalho de milhares de cientistas dentre os mais reputados de nosso tempo, verificam-se que quatro já foram ultrapassadas – a das mudanças climáticas, a da integridade da biosfera, a das mudanças dos sistemas terrestres (associada às transformações dos modos do uso do solo, como, por exemplo, por conta do desmatamento e da mineração) e a dos ciclos biogeoquímicos do nitrogênio e do fósforo.

O avanço do conhecimento científico tem se firmado desde a década de 1960 como alicerce da construção social de algo que poderia ser compreendido como uma abordagem “*Science-based policy*” para temas afeitos à proteção ambiental ou à governança ambiental. Esse avanço do conhecimento científico também torna campo comum, pelo menos para aqueles que acreditam na Ciência, a compreensão de que os processos antrópicos – como a agricultura, os transportes, a indústria, os serviços intensivos em energia e um imenso conjunto de atividades socioeconômicas – além de sofrerem influência dos processos naturais, têm tido sobre esses últimos impactos que estão a levá-los para além de sua resiliência, extrapolando a capacidade-suporte dos sistemas que propiciaram, por milhões de anos, as próprias condições para a evolução e florescimento da vida. Em nossos dias, pelo menos em círculos decisórios abertos ao diálogo com o conhecimento científico, muito se fala em formas de governança ambiental apoiadas por aportes interdisciplinares não apenas para a mitigação da degradação, mas também para a recuperação ou restauração de ecossistemas.

Fala-se, nos circuitos públicos e privados de tomada de decisão, em diversas escalas – da local à global – em funções dos ecossistemas e na remuneração por serviços ambientais, por exemplo.

Embora a Ciência e os cientistas, eles próprios, em nossos dias, estejam sob ataque e ondas obscurantistas de negacionismos diversos se sucedam num fluxo surpreendente diante de um acúmulo sem precedentes de produção acadêmica e científica, a influência da Ciência sobre a vida pública ainda resiste. Nunca se falou tanto em “sustentabilidade” como uma normatividade para o embasamento das decisões que guiam investimentos, para pautar a atividade econômica e a transformação social. Embora haja um histórico bastante antigo sobre essa expressão, tendo sido empregada, por exemplo, no contexto do debate entre preservacionistas e conservacionistas nos Estados Unidos no início do século XX, o debate contemporâneo sobre sustentabilidade está muito conectado com a institucionalidade das Nações Unidas e das instituições de Bretton Woods. Há quem veja, neste debate, um rasgo de política no sentido de Lampedusa: algo precisa ser mudado para que tudo possa permanecer como está. Sem entrar nessa seara, que sem dúvida tem bons fundamentos, gostaria de, entrando finalmente nas questões mais propriamente epistemológicas de um verdadeiro debate científico sobre “sustentabilidade”, retomar alguns ensinamentos de Nicolas Georgescu-Roegen, que nos têm legado uma síntese tão inexorável como inquietante sobre a filosofia da Ciência.

É de amplo conhecimento que esse intelectual romeno, com profundo conhecimento matemático e estatístico e que revolucionou a Economia Neoclássica com contribuições absolutamente originais nos campos da teoria da utilidade e do comportamento do consumidor, mergulhou nas profundezas do conhecimento humano, da Filosofia

à Física, de onde retornou com essa magnífica obra que ora celebramos em seus cinquenta anos. Infelizmente, como já testemunharam muitos colegas, *The Entropy Law and The Economic Process* muitas vezes parece ser citado como um amuleto. Deve dar sorte, suponho, para conseguir o sucesso em publicações científicas – e é sempre de bom tom citar um mestre. De outra parte, a leitura da obra parece ter transformado radicalmente muitos dentre nós. Eu gostaria, francamente, de me entender desta maneira, mas ainda tenho essa sensação incômoda de que ainda falta uma boa distância entre a taça e os lábios. Mas seguimos.

Na introdução do livro, Georgescu-Roegen compila o verbete correspondente do *Webster's Seventh New Collegiate Dictionary*, que traduzo, por minha conta e risco, livremente aqui:

“uma medida da energia não disponível em um sistema termodinâmico fechado relacionado ao estado de um sistema de forma que uma mudança na medida varia com a mudança na razão do incremento do calor tomada na temperatura absoluta à qual é absorvido”.

Georgescu comenta, então, que os detalhes técnicos do conceito de entropia podem ser, em suas palavras, “massacrantes” até mesmo entre muitos físicos. Achei algo engraçado quando li, pela primeira vez, que, diante da definição do Webster, Georgescu tenha considerado que o verbete poderia “afastar a curiosidade intelectual”. Felizmente, Georgescu foi generoso conosco, com um exemplo singelo, muito conhecido, que parafraseio aqui.

Tendo como recurso o ultrapassado motor de uma locomotiva, ele nos (re)apresenta o conceito de entropia. Nesse motor, o calor gerado pela queima do carvão flui por meio da expansão de uma corrente de vapor que vai no sentido da caldeira para a atmosfera. Um resultado evidente dessa operação é o

trabalho mecânico: o movimento. Integram, ainda, o processo, outras transformações. O carvão é transformado em cinzas. A quantidade total de matéria e energia não foi alterada; trata-se da Primeira Lei da Termodinâmica, a Lei da Conservação da Energia, que não entra em contradição com as leis da mecânica. Se o total de matéria e energia não muda, conclui Georgescu, a única mudança sofrida por ambas é qualitativa. A energia química do carvão é “livre”, no sentido de que está disponível para a produção do trabalho mecânico. Na medida em que o carvão é queimado, a energia livre perde paulatinamente essa qualidade, sendo que, ao final, ela se dissipa totalmente pelo sistema, tornando-se “*bound energy*”, frequentemente traduzida como “energia indisponível”, ou seja, uma energia que não se presta mais ao mesmo propósito, ou seja, ao objetivo de produzir trabalho.

Usando os termos “energia livre” e “energia indisponível”, Georgescu-Roegen propõe uma formulação do conceito de entropia que está mais ao alcance do não especialista e que, portanto, é muito útil para finalidades didáticas:

“... entropia é um índice da quantidade da energia relativa de energia indisponível em uma estrutura isolada ou, mais precisamente, de quão homogeneamente a energia é distribuída em tal estrutura. Em outras palavras, alta entropia significa uma estrutura na qual toda ou a maior parte da energia está indisponível, e baixa entropia significa uma estrutura na qual o oposto é verdadeiro” (G-R, 1971, p. 5)

O conceito de entropia é central na Segunda Lei da Termodinâmica, que se refere à dissipação da energia. Seu enunciado é surpreendentemente simples; tudo o que ele diz é que a entropia do Universo (ou de uma dada estrutura ou sistema

isolado) aumenta constantemente e, como acrescenta o autor, irrevogavelmente.

“Nós poderíamos dizer, alternativamente, que, no Universo, há uma degradação contínua e irrevogável da energia livre em energia indisponível. Atualmente, entretanto, é mais comum que nos deparemos com uma interpretação moderna dessa degradação, como uma transformação de ordem em desordem. A ideia é baseada na observação de que a energia livre é uma estrutura organizada, enquanto a energia indisponível é uma distribuição desorganizada”. (G-R, 1971, p. 6).

Voltando à ilustração do carvão, Georgescu salienta o que faz da irrevogabilidade um princípio do processo entrópico. Não fora assim o carvão queimado, transformado em cinzas, poderia retomar sua forma original, podendo ser reutilizado – e várias vezes. O economista deveria, insiste Georgescu, se interessar pela termodinâmica. Estaria ali um princípio fundamental para compreender a natureza da escassez. Mas ele ainda salienta uma segunda razão pela qual o economista deveria se interessar pelo tema.

“... nossa relutância em reconhecer nossas limitações em termos de espaço, de tempo, de matéria e energia. É por causa dessa fraqueza que, ainda que ninguém vá tão longe a ponto de afirmar que é possível aquecer uma caldeira com algumas cinzas, a ideia de que podemos desafiar a Lei da Entropia engarrafando a baixa entropia com a ajuda de algum aparato de engenharia volta à moda periodicamente.” (G-R, 1971, p. 6)

Não sei quanto a você, caro(a) leitor(a), mas a mim, a esta altura, ocorrem inúmeros exemplos de “*technological fixes*” que se voltam em especial para o caso das mudanças climáticas. Será possível que não ocorra às brilhantes mentes que se têm seriamente dedicado a investigar e promover proezas tecnológicas das mais mirabolantes, que o

“problema” das mudanças climáticas está relacionado com outras “questões ambientais contemporâneas”, como o branqueamento dos corais, a perda da biodiversidade terrestre e aquática, com o ciclo do nitrogênio e outras das fronteiras planetárias?

Parece-me que os esforços dos cientistas engajados (*cf. Union of Concerned Scientists*) e tantos outros atores na cena pública em nossos dias, de artistas aos (muito) jovens, dos povos originários ao Papa Francisco, podem ser uma evidência de que os ensinamentos de Georgescu-Roegen têm se tornado uma herança comum. Está, como diriam os franceses, “*dans l’air du temps*”. Será mesmo?

Quero acreditar, de verdade. É inevitável, entretanto, voltar sempre à “segunda razão” mencionada por Georgescu, pela qual os economistas deveriam se interessar pela termodinâmica. Mais que os economistas, na verdade; toda a Humanidade tem se lançado, sucessivamente, piamente, à crença no mito prometeico – haveria sempre um novo fogo na carruagem de Apolo, a ser descoberto, emprestado, roubado ou recebido – por paradoxal que seja essa crença para um cientista ou engenheiro agnóstico – como um “presente dos deuses”. Estaríamos, por assim dizer, eternamente dispostos a fazer barganhas faustianas, por mais prazeres, mais conhecimentos, mais riquezas. E o que estaríamos dispostos a entregar a Mefisto, em troca desses avanços? É fato que já estamos entregando. Parece que a hora de saldar a dívida com ele chegou já tem algum tempo. Temos pagado, desde logo, com a perda da inocência: o próprio conhecimento científico que reconhece que “passamos dos limites”. Mas o preço é maior e a cada dia os valores desse mercado diabólico são inflacionados. Essas contas já foram feitas e refeitas – lembremo-nos do Relatório Stern – apontando que quanto mais tempo demorarmos para atacar de frente os problemas, mais custoso esse

enfrentamento se tornaria. No caso de Sir Nicholas Stern, tratava-se das mudanças climáticas; agora, as Nações Unidas nos urge à ação pela recuperação dos ecossistemas (STERN, 2007). Estamos na “Década da Restauração dos Ecossistemas”. Aliás, 2030 também é o horizonte da Humanidade para avançar dramaticamente no alcance dos “Objetivos do Desenvolvimento Sustentável”, a começar por essa “lição de casa malfeita”, que é erradicar a pobreza extrema, que tem lugar nas agendas das Nações Unidas e dos organismos de Bretton Woods desde sempre.

Vamos observar que o corolário da tese de Georgescu-Roegen em A Lei da Entropia e o Processo Econômico é o decrescimento. É preciso retomar que Georgescu propõe que o processo econômico seja uma continuação do processo biológico. É uma leitura muito interessante que ele traz do trabalho do biólogo-físico Alfred J. Lotka, que afirma que o homem, tanto quanto qualquer outra criatura viva usa seus instrumentos endossomáticos – que fazem parte de cada indivíduo desde seu nascimento (LOTKA, 1945). Seu metabolismo, aberto sobre um ambiente externo, lhe permite assimilar matéria e energia de baixa entropia, organizando-se seu próprio sistema orgânico – crescendo, desenvolvendo-se segundo um compêndio de informações genéticas por sua vez organizadas em seus cromossomos – à custa da exportação, para esse mesmo sistema externo, de matéria degradada e calor. Ora, o processo econômico é uma continuação do processo biológico humano. Nele, as sociedades – a Civilização Industrial, poderíamos complementar – se tornaram possíveis graças aos instrumentos exossomáticos: “facas, martelos, motores etc., que ele próprio produz. O arcabouço de Lotka nos ajuda a compreender por que apenas a espécie humana está

sujeita a um conflito social irreduzível”. (G-R, 1971, p. 11).

E qual seria esse conflito social? Eu gostaria de lembrar que Georgescu-Roegen tem uma contribuição muito elaborada sobre esse ponto, que, pelo menos na minha talvez limitada leitura, coloca a ética (intra e intergeracional) da sustentabilidade diante dessa lei inescapável da dissipação da energia e da desorganização da matéria que é a Segunda Lei da Termodinâmica. Georgescu-Roegen, em suas considerações sobre os caminhos da história e da filosofia da Ciência, sugere que a relação entre a entropia e o domínio dos fenômenos da vida é algo que porta significados mais profundos. Éticos. A Mecânica Clássica nos acostumou – também como economistas – a uma visão de um Universo previsível, com a possibilidade de determinar “exatamente onde e quando um dado evento ocorreria. Mais tarde, os fenômenos quânticos nos ensinaram a nos contentar com a posição mais fraca na qual as leis científicas determinariam apenas a probabilidade de uma ocorrência” (G-R, p. 12). No caso da Lei da Entropia, nos diz o autor, o caso é singular. Ela não determina nem quando a entropia de um sistema fechado alcançará um determinado nível, nem exatamente o que ocorrerá. Apesar disso, ela nos diz muito sobre a direção geral do processo entrópico. Há dois princípios a se tomar em conta: a indeterminação entrópica e a “emergência do novo” – o princípio da variação ou da mudança por combinação. Sim, Georgescu-Roegen também é um cientista evolucionário, como sabemos (CECHIN, VEIGA, 2010; CECHIN, 2010; MANESCHI, ZAMAGNI, 1997; MAYUMI, 1995). Outros pontos importantes da “Filosofia da Ciência” de Georgescu-Roegen e que interessam para a discussão desse “conflito ético” que se coloca diante da Humanidade, é, de um lado, a possibilidade da existência de Ciência “sem métrica” (para o

desespero de muitos economistas neoclássicos, provavelmente); e, de outro, “há Ciência sem determinismo” – o que realmente não deveria surpreender a ninguém. A conclusão importante é que, se a base epistemológica e metodológica para o tratamento de algum fenômeno econômico for um análogo mecânico, então não há nenhum sentido em se falar em entropia ou em termodinâmica. (G-R, 1971, p. 17).

Segue, daí, a impossibilidade de representação matemática (e muito menos determinística) dos processos econômicos em grande escala. Digamos, em escala planetária, por exemplo. É claro que representações de processos isolados, específicos, podem interessar ao engenheiro, ao administrador e ao economista, para torná-los mais eficientes, até mesmo do ponto de vista entrópico. Mas, diz-nos Georgescu:

“O que ela [a Lei da Entropia faz, na minha opinião é muito mais importante. Pelo melhoramento e pela ampliação de nosso conhecimento do processo econômico, ela pode ensinar a quem tiver disposição de ouvir, quais objetivos são melhores para a economia da Humanidade” (G-R., 1971, p. 18).

A interpretação termodinâmica da escassez está na base do desafio ao posicionamento dos economistas diante de suas tarefas laborais e da Humanidade diante de seu “destino” no Planeta. Georgescu-Roegen propõe que até a mera observação sobre relações causais elementares poderiam ser suficientes para aportar evidências de que toda nossa vida econômica se alimenta de baixa entropia – nosso vestuário, a mobília, a moeda: todas as estruturas altamente organizadas são “fato bruto”: a baixa entropia é a condição necessária para que uma coisa qualquer seja útil. O intelectual romeno vê duas formas de “escassez”. Uma delas relacionada à terra; a outra mais geral. Quanto à

terra, embora não possa ser “consumida”, Georgescu observa que seu “valor econômico” provém de dois fatos: primeiro, que a terra é a “rede úmida” com a qual podemos capturar a forma mais vital de baixa entropia que podemos acessar: a luz do Sol; segundo, que o tamanho dessa rede é imutável. A outra forma de escassez, que diz respeito a coisas que são escassas em um sentido que não se aplica à terra. Também aqui, observa dois aspectos. De um lado, o montante de baixa entropia em nosso ambiente decresce contínua e irrevogavelmente. De outro, um dado montante de baixa entropia apenas pode ser usado uma vez. Essas duas formas de escassez operam no processo econômico, de acordo com a tese de Georgescu-Roegen. Entretanto, a última forma supera a primeira, pois, se fosse possível empregar o mesmo pedaço de metal ou queimar o mesmo pedaço de carvão várias vezes, então esses recursos pertenceriam à mesma categoria que a terra. (G-R, 1971, p. 278 e seguintes).

A compreensão da degradação da matéria pela Segunda Lei da Termodinâmica permite mais um olhar sobre a escassez do ponto de vista de nosso autor, de modo a colocar limites não apenas aos processos produtivos em geral, mas também à reciclagem e ao que hoje poderíamos chamar de Economia Circular. As iniciativas de reciclagem, de acordo com ele, podem ser bem-sucedidas em situações particulares de triagem – como quando o cobre reciclado requer um consumo menor de baixa entropia do que quaisquer outros meios de se obter o mesmo montante de metal. Ele ainda admite que o progresso tecnológico pode interferir a favor de uma reciclagem mais eficaz e eficiente.

A epistemologia mecanicista que tem sido *mainstream* nas Ciências Econômicas – Georgescu chama o *mainstream* de Economia *standard* – a torna míope no reconhecimento dessa noção termodinâmica de escassez. Curiosamente, Paul

Samuelson, uma figura proeminente do mainstream e grande admirador de Georgescu, faz o seguinte desafio: “Desafio qualquer economista informado a permanecer acomodado após meditar sobre este ensaio”. Curiosamente, ainda, o discurso atual sobre a Economia Circular também seja desafiado pelo caráter entrópico do processo econômico e pela concepção termodinâmica da escassez. O que é escassa, diz Georgescu, é a baixa entropia. (G.R., 1971, p. 296). Na epistemologia mecânica da Economia *standard*, duas razões principais obstam o reconhecimento desse caráter e dessa concepção: de um lado, a representação do sistema econômico como um sistema fechado que desconsidera o contínuo influxo da baixa entropia a partir do meio ambiente; de outro, a noção de que o processo econômico é circular. Georgescu esperava ter demonstrado, com sua obra, quão distante essa epistemologia está dos fatos:

“mesmo se apenas uma faceta física do processo econômico for levada em conta, este processo não é circular, mas unidirecional. Considerando apenas essa faceta, o processo econômico consiste na contínua transformação da baixa entropia em alta entropia, ou seja, em resíduo irrecuperável ou, com um termo tópico, poluição”. (G.R., 1971, p. 281).

À época da publicação de “A Lei da Entropia e o Processo Econômico”, é preciso lembrar aos mais jovens, vivia-se um conjunto efervescente de transformações sociais, culturais, políticas e geopolíticas. O segundo pós-guerra havia trazido ao debate público sobre ciência e tecnologia, bastante dominado, pelo menos no contexto da Segunda Guerra Mundial, por uma visão que poderíamos bem denominar de cornucopiana, que pode muito bem ser representada pelo relatório de Vannevar Bush, diretor do Escritório de Pesquisa Científica e Desenvolvimento dos Estados Unidos, encomendado pelo presidente Roosevelt (mas entregue a seu

sucessor, Truman, em 1945). A Ciência (e a Tecnologia) seriam as causas últimas do progresso; o eterno retorno do mito de Prometeu se recolocava. Fonte de desenvolvimento industrial, avanços da produtividade, da saúde, da prosperidade, enfim, a Ciência, observava Bush, não poderia ficar na dependência de investimentos limitados – e privados. Os argumentos e o ideário enunciados por Bush levaram à ambiciosa constituição de um sistema de ciência e tecnologia nos EUA no segundo pós-guerra, organizando e articulando atores dentro de um complexo envolvendo indústrias, universidades e institutos e laboratórios públicos de pesquisa, cabendo ao governo os papéis estratégicos de planejamento e de financiamento das partes mais relevantes do sistema (BRITO CRUZ, 2014). Inestimáveis avanços foram obtidos por esse empenho – inclusive seus inestimáveis *spin offs* em termos de desenvolvimento tecnológico cujos frutos são apropriados privadamente, como bem relata Mariana Mazzucato: a telefonia celular e a internet para ficar apenas nesses dois casos já considerados “básicos” nas vidas pessoal, doméstica, pública e corporativa (MAZZUCATO, 2014).

Mas, ao lado disso, um crescente movimento de questionamento sobre “efeitos colaterais” do desenvolvimento científico e tecnológico vão se acumular principalmente a partir da década de 1950. Inicialmente, com o debate sobre a energia nuclear e, a seguir, sobre os efeitos indesejados de medicamentos, os efeitos tóxicos, mutagênicos e teratogênicos de pesticidas, chegando rapidamente a uma visão mais sistêmica dessa problemática. Os jovens estudantes, os ambientalistas, os movimentos pelos direitos civis, os pacifistas, as feministas e até mesmo a classe média em geral, instruída, tinha acesso a obras como *Silent Spring*, de Rachel Carson (CARSON, 1962), *The Population Bomb*, de Paul Ehrlich (EHRLICH, 1968), e *The Closing Circle*, de

Barry Commoner (COMMONER, 1971), que, na passagem dos anos 1960 para os anos 1970, tornaram-se *best sellers* nos Estados Unidos e também ganhavam velozmente audiência na Europa; tornavam-se leituras para um público educado e preocupado com questões socioambientais pelo mundo afora.

O contexto da Guerra Fria, com a negociação de acordos para o desarmamento – ao lado das desconfianças mútuas entre EUA e URSS – e as crescentes dificuldades para o crescimento do “modelo americano” – que se agravaram ainda mais com as subseqüentes “crises do petróleo”, em 1973 e em 1979 – também compõem esse quadro diante do qual se pode compreender a emergência de um pensamento científico crítico ao “crescimento”. Crescimento populacional e crescimento econômico estavam na mira de muitos cientistas à época e a questão ambiental foi alçada a tema de interesse da comunidade internacional. A Suécia, desde pelo menos 1968 preocupada com o problema das chuvas ácidas, propôs a realização da primeira Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, em 1972 e, como um dos resultados dessa conferência, a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, também no mesmo ano. Esses outros dois “jubileus de ouro”, vale mencionar, constituem marcos de um tempo que vê nascer a diplomacia ambiental e a governança ambiental global. Este é o contexto em que a obra de Georgescu vem à luz. Foi por certo gestada por mais tempo, fruto de reflexões muito balizadas e amadurecidas. Mas, sendo obra “de seu tempo”, também foi visionária, e de muito difícil assimilação pela comunidade dos economistas.

Por ocasião do falecimento de Georgescu-Roegen, em outubro de 1994, Herman Daly, seu discípulo e amigo, escreveu um ensaio-obituário valiosíssimo que, de um modo muito generoso, sintetiza valiosas

lições do mestre para a reformulação das Ciências Econômicas. O desafio seria, propõe Daly, reescrever um livro-texto introdutório de Ciências Econômicas a partir dos ensinamentos de Georgescu. Não posso retomar todos os brilhantes e em alguns momentos divertidos insights de Daly, mas gostaria de trazer para essas páginas o primeiro deles, que me faz lembrar de textos e palestras do Professor Clóvis Cavalcanti (CAVALCANTI, 2003; CAVALCANTI, 2010):

“A primeira coisa a mudar seria o diagrama de fluxo circular que transmite a visão pré-analítica do processo econômico como um fluxo circular isolado das empresas para as residências e de volta, sem entradas ou saídas. Este diagrama tem sua utilidade na análise das trocas, mas falha muito como uma estrutura para o estudo da produção e do consumo. A manutenção e reabastecimento, nesta imagem, parece ser realizada internamente, não exigindo nenhuma dependência de um ambiente. É exatamente como se um livro de biologia propusesse estudar um animal apenas em termos de seu sistema circulatório, sem nunca mencionar seu trato digestivo! Um animal com um sistema circulatório isolado e sem trato digestivo seria uma máquina de movimento perpétuo. Ao contrário deste animal de fluxo circular imaginário, animais reais possuem tratos digestivos que os ligam ao seu ambiente em ambas as extremidades. Eles absorvem continuamente matéria/energia de baixa entropia e devolvem matéria/energia de alta entropia. Um organismo não pode reciclar seus próprios produtos residuais. Naturalmente, os livros de biologia não omitem o trato digestivo. Eles geralmente o discutem antes do sistema circulatório, provavelmente por causa de seu aparecimento evolutivo prévio.” (DALY, 1995, p. 151)

Será que a comunidade dos economistas – e dos professores de economia – estão hoje mais dispostas a levar a sério esses ensinamentos? Hoje, quero dizer, neste momento, como mencionei acima, em que estamos a reconhecer “fronteiras planetárias” e um “espaço operacional seguro” para a Humanidade ameaçados sob a aceleração do Antropoceno. Esses conceitos: tenho me referido a eles em minhas aulas como um esforço cheio de esperanças de expoentes da comunidade científica internacional e nacional a nos alertar, e a nossos governantes, sobre o fato de que “esse modelo” é “insustentável”. E o que é “esse modelo”? Poderíamos sem dúvida abrir mais esse flanco do debate, mas isso não cabe nesse espaço. Mas cabe reconhecer que, indistintamente para efeitos “termodinâmicos”, tanto no Ocidente quanto no Oriente (vamos chamar assim, sabendo que poderíamos falar em Capitaloceno ou abrir ainda mais nossos interlocutores, todos muito pertinentes), temos visto que a força motriz é a mesma. Os “desenvolvimentos” que, a despeito de tantos epítetos se lhes aditamos, se por acaso não se reduz, em seus enunciados, ao crescimento quantitativo acabam por tomar para si alguma característica “qualitativo”, apenas têm revigorado uma visão prometeica para reafirmar a centralidade – e o apelo irresistível – do crescimento para nossas sociedades. A quem não estiver convencido, sugiro que retome o ODS de número 8, dentro da Agenda 2030, assim como, mais especificamente, sua meta 8.1.

Em uma de minhas passagens prediletas, Georgescu afirma que: “Uma vez que o processo econômico consiste na transformação de baixa entropia em alta entropia, isto é, em lixo, e sendo esta transformação irrevogável, os recursos naturais devem necessariamente representar uma noção de valor. E porque o processo econômico não é automático, mas intencional, os serviços de todos os agentes, humanos e materiais, também pertencem à mesma

faceta daquela noção. Quanto à outra faceta, nós deveríamos notar que seria absurdo pensar que o processo econômico exista apenas por ou para a produção de lixo. A conclusão irrefutável é que o verdadeiro processo é um fluxo imaterial, a fruição da vida (*the enjoyment of life*). Este fluxo constitui a segunda faceta do valor econômico. O trabalho, por meio de sua escravidão, apenas tende a diminuir a intensidade deste fluxo, exatamente na medida em que uma alta taxa de consumo tende a aumentá-lo” (p. 18).

Diante da resolução inescapável que se coloca diante de uma interpretação termodinâmica do processo econômico, a via abraçada por Georgescu foi a do decrescimento. “undoubtedly, the current growth must cease, nay, be reversed.” (Georgescu-Roegen 1975, 369). Haveríamos que avançar neste tema, tanto do ponto de vista de sua sustentação em uma epistemologia termodinâmica da Ciência Econômica como, de forma muito mais desafiadora, do ponto de vista das estratégias sociais, culturais e políticas para sua viabilidade.

Gostaria de finalizar observando que Dennis Meadows reconheceu a dívida intelectual do Limits to Growth com relação ao legado de Georgescu. A impossibilidade de crescimento em um sistema com recursos limitados seria um denominador comum às duas obras. Os caminhos políticos seguidos pelo Clube de Roma, que havia demandado o estudo sobre os limites do crescimento à equipe de Donella e Dennis Meadows, no MIT, foram muito distintos daqueles propugnados por Georgescu, entretanto. O Clube de Roma tem seguido a perspectiva da “gestão de um crescimento sustentável” (LEVALLOIS, 2010). Como se vê, Daly tem muita razão quando propõe estratégias para reescrever livros textos introdutórios de Economia. Além daquele insight inicial, que retomei acima, parece-me inelutável um debate bem fundamentado sobre a “fruição da vida”. Afinal é ela, a vida, que precisa ser “sustentável”.

[1] Departamento de Política Científica e Tecnológica (DPCT), Instituto de Geociências (IG), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil.

---

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- BRITO CRUZ, Carlos Henrique. Apresentação: Vannevar Bush - Science The Endless Frontier. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 13, n. 2, p. 241-280, 2014.
- CARSON, Rachel. **Silent Spring**. Houghton Mifflin Harcourt, 2002 [1962].
- CAVALCANTI, Clóvis. Uma tentativa de caracterização da economia ecológica. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, p. 149-156, 2004.
- CAVALCANTI, Clóvis. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 53-67, 2010.
- CECHIN, Andrei Domingues; VEIGA, José Eli da. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 30, n. 3, p. 438-454, 2010.

- CECHIN, Andrei. **A Natureza como Limite da Economia**: a contribuição de Georgescu-Roegen. São Paulo: Senac, 2010.
- COMMONER, Barry. **The closing circle**: nature, man, and technology. Courier Dover Publications, 2020 [1971].
- DALY, Herman E. On Nicholas Georgescu-Roegen's contributions to economics: an obituary essay. **Ecological Economics**, v. 13, n. 3, p. 149-154, 1995.
- EHRlich, Paul R. **The Population Bomb**. New York Books, 1968.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. Energy and economic myths. **Southern Economic Journal**, v. 41, n. 3, 347-381, 1975.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The Entropy Law and the Economic Process**. Harvard University Press, 2013 [1971].
- LEVALLOIS, Clément. Can de-growth be considered a policy option? A historical note on Nicholas Georgescu-Roegen and the Club of Rome. **Ecological Economics**, v. 69, n. 11, p. 2271-2278, 2010.
- LOTKA, Alfred J. The law of evolution as a maximal principle. **Human Biology**, v. 17, n. 3, p. 167-194, 1945.
- MANESCHI, Andrea; ZAMAGNI, Stefano. Nicholas Georgescu-Roegen, 1906–1994. **The Economic Journal**, v. 107, n. 442, 695-707, 1997.
- MAZZUCATO, Mariana. **O Estado Empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado**. Portfolio-Penguin, 2014.
- MEADOWS, Donella H. *et al.*. **The Limits to Growth** – a report for the Club of Rome's Project on Predicament of Mankind. Potomak Associated Books, 1972.
- ROCKSTRÖM, Johan *et al.* Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. **Ecology and society**, v. 14, n. 2, 2009.
- STERN, Nicholas Herbert. **The economics of climate change**: the Stern Review. Cambridge University Press, 2007.

## NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN E A HISTÓRIA DO PENSAMENTO ECONÔMICO-ECOLÓGICO

Marco P. Vianna Franco [1]

Debates e trabalhos em comemoração aos 50 anos do *magnum opus* do matemático e economista romeno Nicholas Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process* (1971), vêm reforçar o já grande interesse na sua obra por parte de economistas ecológicos e historiadores do pensamento econômico. Contribuições à memória intelectual de Georgescu-Roegen são tão variadas quanto seu próprio legado para a ciência econômica, e em tal historiografia estão presentes tópicos diversos como economia agrária (MARTINEZ-ALIER, 1997; VIANNA FRANCO, 2021), metodologia científica (COUIX, 2021; MAYUMI, 1995), economia do desenvolvimento (SUPRINYAK, no prelo), economia evolucionária (BOBULESCU, 2012; CECHIN; VEIGA, 2010) e, principalmente, economia ecológica (MAYUMI, 2001; MAYUMI; GOWDY, 1999; MISSEMER, 2013) e teorias do decrescimento econômico (LEVALLOIS, 2010; MISSEMER, 2017).

Críticas à noção de crescimento econômico *ad infinitum*, mesmo que entendida de forma mais abrangente e não necessariamente em termos de métricas específicas como PIB, têm sido formuladas pelo menos desde o início do século XVIII sob diversas formas. Questões como a dinâmica populacional em Thomas Malthus, a relação entre reservas de guano e crises agrícolas em Justus von Liebig, o desconto intertemporal em Frederick Soddy e sobretudo a disponibilidade de energia e recursos não-renováveis discutida por Sergei Podolinsky, Otto Neurath, Rudolf Clausius, William Stanley Jevons e outros figuram como diferentes

enfoques ao reconhecimento de limites absolutos para a escala da atividade econômica.

Em um segundo momento e concomitantemente ao novo fôlego dos movimentos ambientais, às crises do petróleo, e a influentes trabalhos como *Os Limites do Crescimento* do Clube de Roma (MEADOWS *et al.*, 1972) e *Primavera Silenciosa* de Rachel Carson (1968), surgem novos aportes teóricos de economistas durante as décadas de 1960 e 1970 que enfatizavam o caráter biofísico de processos econômicos. Lançando mão das leis da termodinâmica moderna e da teoria geral dos sistemas, Kenneth Boulding (1966), Herman Daly (1968) e o próprio Georgescu-Roegen (1971) chamaram atenção para as limitações biofísicas impostas a uma economia que opera em um planeta finito e que é composta, em última análise, por fluxos e estoques de energia e matéria mantenedores de processos metabólicos que provêm suporte à vida. Tais ideias deram origem à bioeconomia como campo científico, termo preferido por Georgescu-Roegen para representar seu próprio trabalho e que posteriormente recebeu outros significados (VIVIEN *et al.*, 2019). Outra designação para esse mesmo conjunto de ideias seria “termoeconomia” (GLUCINA; MAYUMI, 2010), cunhado no começo da década de 1960 pelo engenheiro e termodinamicista Myron Tribus (EL-SAYED, 2003).

É nesse contexto que *The Entropy Law and The Economic Process* se destaca como marco principal de um conjunto de críticas teóricas à ideia de crescimento econômico infinito que, apesar de fracassar na sua tentativa de reformar o arcabouço

teórico adotado pela economia convencional, ganha notoriedade e exerce influência sobre diferentes correntes do pensamento econômico heterodoxo. O argumento central de Georgescu-Roegen recoloca a termodinâmica moderna como pilar da ciência econômica. Mais especificamente, a lei da entropia, formulada e aprimorada ao longo do século XIX por figuras como Sadi Carnot, William Rankine, Rudolf Clausius e William Thomson, seria um ponto-chave: “a própria lei da entropia emerge por natureza como a mais econômica dentre todas as leis naturais” (GEORGESCU-ROEGEN, 1971, p. 3, tradução nossa). O fato de que há sempre deterioração de energia durante transformações físicas em sistemas isolados (e, assim, sempre há neles aumento de entropia) implica que a atividade econômica está fadada a se restringir a níveis compatíveis com um orçamento solar, uma vez que, em termos práticos, a energia proveniente do sol é o que impede que o planeta Terra se torne um sistema isolado. Outras implicações da lei da entropia para a economia são a irreversibilidade de seus processos ao longo do tempo – algo que a economia convencional negligencia – e os limites teóricos da eficiência da reciclagem e de outras inovações tecnológicas, assim como a dependência da atividade econômica de reservas finitas como as de combustíveis fósseis e minerais.

Enquanto argumentos baseados na lei da entropia deram nova força às críticas já existentes, eles constituem uma forma específica de objeção teórica ao crescimento continuado como imperativo ideológico. Trata-se de uma abordagem distinta daquelas com base em balanços energéticos elaboradas desde as últimas décadas do século XIX e coletivamente caracterizadas como energética social (FRANCO, 2018), ou mesmo de estudos mais recentes conduzidos a partir da modelagem dinâmica computável de sistemas econômico-ecológicos aos

moldes das pesquisas promovidas pelo Clube de Roma (MEADOWS *et al.*, 1972). Ademais, o livro *The Entropy Law and the Economic Process* eleva a um novo patamar a sofisticação argumentativa e teórica da crítica ao crescimento até então, colocando-se como epítome de uma longa e diversa série de aportes no tema e também formalizando, de forma contundente, seu posicionamento intelectual. A partir do final dos anos 1980, ele passa a ser percebido como um dos marcos inaugurais da história recente de uma economia ecológica moderna (RØPKE, 2005). Para Martinez-Alier (1987, p. 1, tradução nossa), o livro “anuncia uma reviravolta conceitual na economia”. Até mesmo a Associação Americana de Economia, ao conferir a Georgescu-Roegen a distinção de *Distinguished Fellow*, menciona seu caráter revolucionário ao caracterizar a “atividade econômica como uma extensão da evolução biológica do homem – um processo entrópico em lugar de analogias mecânicas típicas da economia matemática” (AEA, 1972). Ainda assim, nenhuma dessas abordagens obteve sucesso em suas tentativas de convencimento (ou mesmo de obter respostas elaboradas) do *establishment* acadêmico em ciência econômica, ao passo que os escassos contrapontos feitos por economistas convencionais se atêm a algum tipo de otimismo tecnológico (ou cornucopianismo), como a possibilidade de substituição perfeita entre recursos naturais e outros fatores de produção (DALY, 1997).

#### A HISTÓRIA DO PENSAMENTO ECONÔMICO-ECOLÓGICO

Georgescu-Roegen se encaixa, pelas razões expostas anteriormente, em uma história do pensamento econômico-ecológico (PEE) fundamentada na energética social (FRANCO, 2018; MARTINEZ-ALIER, 1987) ou, de maneira similar,

na abordagem biofísica da ciência econômica (CHRISTENSEN, 1989). Entretanto, ao se pensar de forma mais ampla acerca da história das ideias à qual pertenceria a obra de Georgescu-Roegen, propõe-se aqui uma outra definição, dentre outras possíveis, para a história do PEE. Assim, refere-se ao PEE aqui como um conjunto de ideias que se debruçam sobre sistemas naturais e sociais de forma ontologicamente interconectada, ou seja, construindo e participando em uma realidade compartilhada. Essa definição também implica o compartilhamento de condições de possibilidade na obtenção de conhecimento, ou a integração em nível epistemológico entre sociedades humanas e o mundo natural como objetos de pesquisa (VIANNA FRANCO; MISSEMER, 2022b).

Consequentemente, o PEE postula pressuposições comuns em relação a fenômenos naturais e sociais em detrimento de ideias, conceitos, e visões de mundo sujeitas a enunciados contraditórios ou que não abarquem certos aspectos da realidade e, portanto, que se mostram potencialmente inadequados para a compreensão de sistemas sócio-ecológicos em sua totalidade e para a subsequente recomendação de políticas públicas em sustentabilidade (PERSSON *et al.*, 2018; PERSSON; THORÉN; OLSSON, 2018). Tal formulação corresponde ao conceito de “interdisciplinaridade forte” em correntes contemporâneas da filosofia da ciência da sustentabilidade, que para Schmidt (2008, p. 55, tradução nossa) abrangem “objetos, teorias/conhecimento, métodos e problemas” e buscam um equilíbrio entre já conhecidas demandas pela unificação da ciência como um ideal teórico (WEINBERG, 1994), por um lado, e, por outro, por uma ciência pluralista focada na resolução de problemas práticos (GOYETTE, 2016). O objetivo da interdisciplinaridade forte seria “retomar e

garantir o progresso, restaurar a produção de conhecimento e permitir uma visão universal acerca do comportamento do objeto no mundo real” (SCHMIDT, 2008, p. 59, tradução nossa).

Embora as ciências naturais e sociais, em seu processo de especialização, tenham desenvolvido ferramentais analíticos diferentes de acordo com seus respectivos objetos de pesquisa (de modo geral a realidade empírica e a subjetividade humana, respectivamente), sistemas sócio-ecológicos pertencem a esses dois domínios, se beneficiando, por conseguinte, de versões intermediárias de realismo que reconheçam a existência de uma realidade objetiva e empiricamente acessível, ao passo que o conhecimento acerca da mesma permanece sempre parcial e circunstancial em vista dos limites colocados pelas próprias evidências. Não obstante, tais pressuposições comuns se colocam na prática científica como um desafio. Jerneck *et al.* (2011, p. 78, tradução nossa) afirmam que

“diferenças ontológicas e epistemológicas constituem um dos principais obstáculos à integração do conhecimento entre disciplinas científicas (...), especialmente quando valores, objetivos em conflito e escolhas difíceis estão envolvidas”.

A interdisciplinaridade forte, portanto, constitui característica central do PEE. De um ponto de vista historiográfico, a fertilização cruzada de ideias precede o próprio aparecimento e consolidação das fronteiras disciplinares ao longo do século XIX; assim, aplicar o termo interdisciplinaridade a períodos anteriores soaria anacrônico. No entanto, o conceito permanece válido ao tornar possível identificar, retrospectivamente, episódios que, dentro de um determinado contexto, adotaram pressuposições comuns em nível ontológico e epistemológico acerca de fenômenos naturais e sociais. Destarte, seria possível alargar o escopo para além de tradições intelectuais já mais bem

estabelecidas, como a energética social que se inicia nos fins do século XIX, para então incluir episódios como a economia da natureza de Carl Linnaeus, a filosofia natural de Johann von Goethe e Alexander von Humboldt, os movimentos sanitaristas na França e Grã-Bretanha em meados do século XIX, o utopianismo russo no final do mesmo século, e a economia institucional americana no início do século XX (VIANNA FRANCO; MISSEMER, 2022a).

Adicionalmente, há um repertório conceitual ou de significados que aponta para o caráter interdisciplinar do PEE: limites biofísicos ao crescimento, progresso tecnológico, evolução de sistemas complexos, serviços ecossistêmicos e dinâmica não-linear são alguns exemplos. Categorias ainda mais gerais que se alinham a esse conjunto de ideias incluem noções como propriedades qualitativas, incerteza fundamental, irreversibilidade, instituições, princípios morais e processos de tomada de decisão. A questão colocada pela incomensurabilidade de valores aparece como caso especial em que a realidade e o conhecimento relacionados a sistemas sociais não devem contradizer aqueles relacionados a sistemas naturais, mas sim se inserir e também emergir destes (DOUAI, 2009; MARTINEZ-ALIER; MUNDA; O'NEILL, 1998).

Alternativamente, há articulações entre fenômenos naturais e sociais menos ambiciosas ou abrangentes que se manifestam por meio de argumentos lógicos, como analogias e homologias (comparações respectivamente baseadas em funções e estruturas) ou figuras de linguagem (metáforas e símiles), além de outros discursos retóricos (FABER; PROOPS, 1985; THOBEN, 1982). Embora tais artifícios sejam inerentes ao processo de compreensão da realidade e produção de conhecimento, eles normalmente não se enquadram dentro da definição de

interdisciplinaridade forte e podem agir em direções opostas, como ao aprofundar o processo de hiperespecialização, ocasionar enunciados contraditórios ou que desconsideram aspectos da realidade, e corroborar um pluralismo não-estruturado. Esse é o caso, por exemplo, da teoria evolucionária da firma, que remete à teoria darwiniana da seleção natural e compara firmas a organismos vivos se adaptando via inovação (NELSON; WINTER, 1982). A aparente similaridade das estruturas ou funções dos objetos sob análise (firmas e organismos vivos) não é observada em relação aos mecanismos subjacentes, que revelam realidades diferentes, abrindo caminho para observações contraditórias ou incompletas acerca de sistemas sócio-ecológicos.

Em todo caso, ao se pensar tal história do PEE é necessário que se reconheçam as especificidades e não apenas se fiar *a priori* por distinções rígidas. Porém, isso não impede um processo iterativo de demarcação do corpo intelectual a que ela se refere. Qualificar o PEE com base na interdisciplinaridade forte, além de servir como ferramenta durante a pesquisa historiográfica, se presta de forma particularmente útil à identificação de ideias que, mesmo quando concebidas em contextos de hiperespecialização, transcendem o dualismo natural-social e, assim, dão origem a novas e promissoras formas de se lidar com desafios socioambientais.

#### GEORGESCU-ROEGEN NA HISTÓRIA DO PENSAMENTO ECONÔMICO-ECOLÓGICO

*The Entropy Law and the Economic Process* não apenas se enquadra em tal definição de PEE e sua história como se destaca como representante emblemático. A utilização da interdisciplinaridade forte é marcante na obra. Para Røpke (2004, p. 301,

tradução nossa), “o escopo do livro é extremamente amplo, incluindo física, economia, filosofia da ciência, etc.”. Na verdade, o alcance é ainda maior, e a ênfase recai sobre as ciências biológicas com a mesma intensidade do que sobre as ciências físicas. De fato, as articulações feitas por Georgescu-Roegen são substanciais no sentido de que buscam uma visão comum e orgânica de sistemas sócio-ecológicos em nível ontológico. Ao integrar tantos campos científicos sem perda de profundidade, o economista romeno sem dúvida faz jus às menções de “homem renascentista” (AEA, 1972; RØPKE, 2005). Em suas próprias palavras:

“Não é preciso dizer que desenvolver um projeto desta natureza requer se arriscar em territórios distintos dos nossos, em campos nos quais não estamos qualificados a debater. O melhor que podemos fazer nesta situação é nos apoiar nos escritos de autoridades consagradas em cada campo que nos é estranho e, para o bem do leitor, não suprimir quaisquer referências a qualquer fonte (...). Ainda assim, incorre-se em risco substancial. Mas o projeto deve ser empreendido. Ele revela que a relação entre o processo econômico e a lei da entropia é apenas um aspecto de um fato mais geral: tal lei é a base da *economia* da vida em todos os níveis. Há também lições a serem aprendidas a partir dessa mesma análise quanto ao objeto epistemológico, convergindo para uma conclusão geral que deveria interessar a todo cientista e filósofo, não apenas ao estudante de fenômenos da vida (como é o caso do economista). A conclusão é que na realidade apenas o movimento [*locomotion*] prescinde de uma caracterização qualitativa e histórica: tudo mais é Mudança [*Change*] no sentido pleno da palavra (GEORGESCU-ROEGEN, 1971, p. 4, tradução nossa, itálico no original).

Ao refutar o paradigma mecânico e a primazia da descrição matemática do mundo,

particularmente como recebidos pela ciência econômica convencional, Georgescu-Roegen busca uma visão integrada de sistemas sócio-ecológicos, caracterizados como entrópicos e cuja compreensão passa necessariamente por suas propriedades qualitativas. Em seu processo de construção, pode-se perceber a adequação dos princípios da interdisciplinaridade forte, como nas discussões sobre o caráter entrópico de processos econômicos como base material da vida, teorias do valor que conjugam aspectos biofísicos e comportamentais, e a detalhada caracterização de fundos e fluxos operando no tempo, que fundamentam um novo modelo em substituição às tradicionais funções de produção agregada. Segundo Georgescu-Roegen (1971), a proximidade entre leis naturais e o comportamento humano não deveria ser surpresa; reconhecer a influência da lei da entropia sobre decisões relevantes para a vida nos leva “para além da fronteira da economia e mesmo das ciências sociais”, rumo a um novo amálgama entre o natural e o social.

Após 50 anos de sua publicação, os mesmos desafios ainda se colocam dentro e fora da comunidade científica. O resgate intelectual da obra de Georgescu-Roegen e outras pertencentes à história do PEE, portanto, para além de seu papel historiográfico, vem somar esforços ao processo de superação dos mesmos por meio da ação de seus legatários.

[1] [marco.franco@kli.ac.at](mailto:marco.franco@kli.ac.at). Konrad Lorenz Institute for Evolution and Cognition Research.

---

 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
 

---

- AMERICAN ECONOMIC ASSOCIATION (AEA). Nicholas Georgescu-Roegen: Distinguished Fellow 1971. **The American Economic Review**, v. 62, n. 3, 1972.
- BOBULESCU, Roxana. The making of a Schumpeterian economist: Nicholas Georgescu-Roegen. **European Journal of the History of Economic Thought**, v. 19, n. 4, p. 625-651, 2012.
- BOULDING, Kenneth E. The economics of the coming spaceship earth. In: JARRET, H. (ed.). **Environmental quality in a growing economy**. Baltimore, MD: John Hopkins University Press, 1966. p. 3-14.
- CARSON, Rachel. **Silent spring**. Greenwich: Crest Book, 1968.
- CECHIN, Andrei D.; VEIGA, José E. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. **Revista de Economia Política**, v. 30, p. 438-454, 2010.
- CHRISTENSEN, Paul P. Historical roots for ecological economics — biophysical versus allocative approaches. **Ecological Economics**, v. 1, n. 1, p. 17-36, 1989.
- COUIX, Quentin. Models as ‘analytical similes’: on Nicholas Georgescu-Roegen's contribution to economic methodology. **Journal of Economic Methodology**, v. 28, n. 2, p. 165-185, 2021.
- DALY, Herman E. Forum: Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. **Ecological Economics**, v. 22, p. 261-266, 1997.
- DALY, Herman E. On economics as a life science. **Journal of Political Economy**, v. 76, p. 392-406, 1968.
- DOUAI, Ali. Value theory in ecological economics: the Contribution of a political economy of wealth. **Environmental Values**, v. 18, n. 3, p. 257-284, 2009.
- EL-SAYED, Yenia M. **The thermoeconomics of energy conversions**. Oxford, UK: Elsevier, 2003.
- FABER, M.; PROOPS, J.L.R. Interdisciplinary research between economists and physical scientists: retrospect and prospect. **Kyklos**, v. 38, n. 4, p. 599-616, 1985.
- FRANCO, Marco P.V. Searching for a scientific paradigm in ecological economics: The history of ecological economic thought, 1880s–1930s. **Ecological Economics**, v. 153, p. 195-203, 2018.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. **The entropy law and the economic process**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971.
- GLUCINA, Mark D.; MAYUMI, Kozo. Connecting thermodynamics and economics: well-lit roads and burned bridges. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1185, p. 11-29, 2010.
- GOYETTE, Stéphane. Interdisciplinarity helps solving real-world problems. **Regional Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 593-594, 2016.
- JERNECK, Anne *et al.* Structuring sustainability science. **Sustainability Science**, v. 6, n. 1, p. 69-82, 2011.
- LEVALLOIS, Clement. Can de-growth be considered a policy option? A historical note on Nicholas Georgescu-Roegen and the Club of Rome. **Ecological economics**, v. 69, p. 2271-2278, 2010.

- MARTINEZ-ALIER, Joan. **Ecological Economics**: energy, environment and society. Oxford: Basil Blackwell Ltd, 1987.
- MARTINEZ-ALIER, Joan. Some issues in agrarian and ecological economics, in memory of Georgescu-Roegen. **Ecological Economics**, v. 22, p. 225-238, 1997.
- MARTINEZ-ALIER, Joan; MUNDA, Giuseppe; O'NEILL, John. Weak comparability of values as a foundation for ecological economics. **Ecological Economics**, v. 26, n. 3, p. 277-286, 1998.
- MAYUMI, Kozo. Nicholas Georgescu-Roegen (1906–1994): an admirable epistemologist. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 6, n. 3, p. 261-265, 1995.
- MAYUMI, Kozo. **The Origins of Ecological Economics**: the bioeconomics of Georgescu-Roegen. London & New York: Routledge, 2001.
- MAYUMI, Kozo; GOWDY, John M. (eds.). **Bioeconomics and sustainability**: essays in honor of Nicholas Georgescu-Roegen. Cheltenham & Northampton: Edward Elgar Publishing, 1999.
- MEADOWS, Donna H. *et al.* **The limits to growth**: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. New York: Universe Books, 1972.
- MISSEMER, Antoine. Nicholas Georgescu-Roegen and degrowth. **The European Journal of the History of Economic Thought**, v. 24, n. 3, p. 493-506, 2017.
- MISSEMER, Antoine. **Nicholas Georgescu-Roegen, pour une révolution bioéconomique**. Lyon, France: ENS Éditions, 2013.
- NELSON, Richard R., WINTER, Sidney.G. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982.
- PERSSON, Johannes *et al.* Toward an alternative dialogue between the social and natural sciences. **Ecology and Society**, v. 23, n. 4, 14, 2018.
- PERSSON, Johannes; THORÉN, Henrik; OLSSON, Lennart. The interdisciplinary decision problem: Popperian optimism and Kuhnian pessimism in forestry. **Ecology and Society**, v. 23, n. 3, 40, 2018.
- RØPKE, Inge. The early history of modern ecological economics. **Ecological Economics**, v. 50, p. 293-314, 2004.
- RØPKE, Inge. Trends in the development of ecological economics from the late 1980s to the early 2000s. **Ecological Economics**, v. 55, p. 262-290, 2005.
- SCHMIDT, Jan C. Towards a philosophy of interdisciplinarity: an attempt to provide a classification and clarification. **Poiesis & Praxis**, v. 5, n. 1, p. 53-69, 2008.
- SUPRINYAK, Carlos E. Nicholas Georgescu-Roegen, Development Economist. **Journal of the History of Economic Thought**, no prelo. Disponível em <https://osf.io/8vybt/>. Acesso em: 23 de novembro de 2021.
- THOBEN, H.A.A.M. Mechanistic and organistic analogies in economics reconsidered. **Kyklos**, v. 35, n. 2, p. 292-306, 1982.

VIANNA FRANCO, Marco P. Ecological neo-Narodnism and the peasant economy: history and contemporary relevance. **Journal of Political Ecology**, v. 28, n. 1, p. 416-433, 2021.

VIANNA FRANCO, Marco P.; MISSEMER, A. **A history of ecological economic thought**. London & New York: Routledge, 2022a.

VIANNA FRANCO, M.P.; MISSEMER, Antoine. Escrevendo a história do pensamento econômico-ecológico: desafios e perspectivas. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 35, n. 1, p. 1-18, 2022b.

VIVIEN, F.-D. et al. The hijacking of the bioeconomy. **Ecological Economics**, v. 159, p. 189-197, 2019.

WEINBERG, Steven. **Dreams of a final theory**: the scientist's search for the ultimate laws of nature. New York: Vintage Books, 1994.

## 50 ANOS DE “THE ENTROPY LAW AND THE ECONOMIC PROCESS”[1]: DESDOBRAMENTOS CONHECIDOS, IMPLICAÇÕES SUBESTIMADAS E POUCAS CONTROVÉRSIAS

Andrei Cechin[2]

### INTRODUÇÃO

Cinquenta anos se passaram desde a publicação de “*Entropy Law*”, obra que representa uma verdadeira exceção na guinada mecanicista e atomista do pensamento econômico do pós Segunda Guerra Mundial. O livro de Nicholas Georgescu-Roegen [3] (1906-1994) representa uma ampla investigação em muitas questões da filosofia de ciência, desde aquelas relacionadas à medição em física e economia, até aquelas relacionadas com a evolução nas ciências da vida e sociais, passando pela oposição entre mecânica e termodinâmica.

Por que celebrar 50 anos de um livro que tem no mesmo título as palavras entropia e economia? Por que as ciências econômicas deveriam se preocupar com a lei da entropia?

A Lei da Entropia diz que a parcela da energia total que “não é mais útil” tende a aumentar em qualquer sistema isolado. Todos os processos de vida e de sustentação da vida são entrópicos com relação a qualquer sistema isolado considerado em torno deles (SCHNEIDER, KAY, 1994; SCHNEIDER, SAGAN, 2005). Qualquer processo entrópico é, por definição, relacionado a algum tipo de mudança qualitativa irreversível. Algumas contribuições e implicações da Lei da Entropia e do livro de 1971 tiveram desdobramentos na Economia Ecológica. Há outras, no entanto, que são subestimadas. As contribuições e implicações que respondem a essas perguntas se encontram em dois níveis, o físico e o epistemológico.

Do ponto de vista estrito da física, o processo econômico é entrópico: não cria nem consome matéria e energia, apenas transforma recursos de baixa entropia em calor e resíduos de alta entropia. Assim, a Lei da Entropia implica uma perspectiva metabólica do processo produtivo. A produção exige um fluxo de entrada de energia e materiais, sejam vindos diretamente da natureza, seja de outros processos produtivos. Há sempre um fluxo de saída de resíduos e calor dissipado de qualquer processo produtivo. Melhorias de eficiência reduzem desperdício e resíduos, mas isso não significa que recursos naturais estão sendo substituídos por capital. Assim, essa primeira razão leva os economistas a entenderem as relações entre o subsistema econômico e o sistema maior em que este está inserido (meio ambiente).

No nível epistemológico, a entropia implica uma perspectiva evolucionária. Razão essa que talvez tenha sido pouco compreendida até mesmo pelos economistas ecológicos. A Lei da entropia introduziu na física a “flecha do tempo” e, com ela, o reconhecimento da irreversibilidade dos processos ligados à vida. Traz consigo o entendimento de que sistemas abertos estão fora do equilíbrio, e de que o processo econômico já é, em um nível físico básico, fundamentalmente caracterizado por mudanças qualitativas irreversíveis. Há, portanto, sérios limites a análises estáticas de equilíbrio formalizadas matematicamente.

Neste ensaio serão destacadas e comentadas essas duas implicações do livro *Entropy Law* para a economia. No final, o ensaio levanta controvérsia a

respeito tanto da relação do livro *Entropy Law* com a defesa do decrescimento enquanto projeto político, quanto dos determinantes da falta de tração das ideias contidas no livro na comunidade dos economistas de maneira geral.

#### METABOLISMO DO PROCESSO PRODUTIVO

A principal contribuição de Georgescu para a teoria da produção consiste na análise crítica do significado da função de produção neoclássica e na elaboração do modelo fluxos-fundos. A função de produção neoclássica mostra o que um processo produtivo pode fazer - (quantidade máxima de produto que pode ser obtida a partir de uma dada quantidade de insumos) -, mas não o que de fato ele faz nas diferentes situações. O modelo fluxos-fundos foi apresentado em 1965 na Conferência da Associação Econômica Internacional, em Roma, e originalmente visava ilustrar os danos causados pelo "simbolismo cego" da teoria dominante de produção (MARZETTI, 2013). Desde então, o modelo apareceu em alguns de seus trabalhos subsequentes (1970) com apenas pequenas modificações, e também no capítulo 9 de *Entropy Law* (1971).

Os fundamentos da teoria de Georgescu repousam sobre os conceitos de "Processo", "fronteira", "fluxos" e "fundos". É preciso ficar claro que a produção ocorre num intervalo de tempo, e envolve mudança, por isso é um processo. Fronteiras analíticas devem ser definidas, tanto em termos espaciais quanto temporais. Partindo da existência de tais fronteiras, pode-se registrar a cada instante no tempo os elementos que as cruzam, entrando ou saindo do processo. O modelo fluxos-fundos mostrou-se adequado para analisar a organização da produção, que requer coordenação temporal e interação entre seus elementos, e foi adotado por alguns poucos autores (TANI, 1988; MORRONI,

1992; PIACENTINI, 1995; MARZETTI, 2013) que estenderam ou modificaram parcialmente o arcabouço original para torná-lo mais operacional. A abordagem também atraiu também algumas críticas específicas (KURZ, SALVADORI, 2003).

Além de ter chamado a atenção para a relação entre a eficiência e a organização do processo produtivo, Georgescu mostrou que existe uma diferença qualitativa básica entre os chamados fatores de produção. Os fundos - o capital, a terra e a força de trabalho - são os fatores de produção tradicionalmente considerados pelos economistas, e saem relativamente inalterados do processo, num intervalo de tempo curto. Já os fluxos - a energia e os materiais advindos diretamente da natureza ou de outro processo produtivo - são transformados pelos fundos em bens, em resíduos e calor (CECHIN, 2010; CECHIN, VEIGA, 2010). Há, portanto, fluxos de entrada (bens intermediários, matéria-prima e energia) e de saída (bens, resíduos, calor) no processo produtivo (CECHIN, 2010; CECHIN, VEIGA, 2010).

O modelo faz uma distinção crucial entre os fluxos de recursos que provém de estoques e os serviços prestados pelos fundos. Um fundo não é um estoque: enquanto um estoque pode ser acumulado ou esgotado em um único instante, o uso de um fundo, ou seja, sua depleção requer tempo (GEORGESCU-ROEGEN, 1971). Para dar um exemplo, um saco de vinte bombons é um estoque: você pode fazer vinte crianças felizes hoje, amanhã ou fazer uma criança feliz por vinte dias. Uma lâmpada elétrica que dura mil horas é um fundo: você não pode usá-la para iluminar mil quartos por uma hora ao mesmo tempo (MARZETTI, 2013).

O modelo fluxos-fundos fundamenta metodologias contemporâneas de análises de fluxos materiais, e análises de metabolismo social, como o MuSIASEM

(Análise Integrada Multiescala do Metabolismo Social e do Ecosistema) (GIAMPIETRO, RAMOS-MARTIN, 2005; RAMOS-MARTIN *et al.*, 2007). MuSIASEM integra informações sobre as dimensões sociais, econômicas e sociometabólicas em várias escalas, seja de uma economia nacional, seja de setores específicos como agricultura, indústria, construção civil, ou serviços. Se baseia no conceito de "fundos" que fornecem serviços ao sistema social. Para seus proponentes, nenhuma análise biofísica de uma sociedade faz sentido sem que se faça uma distinção adequada entre "fundos", "fluxos" e "estoques". Portanto, deve-se tomar muito cuidado com variáveis de intensidade energética ou material – expressas em Joules (J) ou quilogramas (Kg) por dólar (\$) do PIB. Essas variáveis de intensidade partem de dois fluxos: do valor monetário do produto gerado em um ano, e dos materiais/energia usados em um ano. No entanto, a heterogeneidade entre países com mesma intensidade energética, de carbono ou material é tão grande que tais indicadores se tornam praticamente vazios de significado. O problema está em ignorar os fundos, ou seja, o tamanho da população e da infraestrutura produtiva. Quando se calcula a energia ou recursos naturais usados *per capita* em um ano, a taxa metabólica, pode-se ter uma ideia mais precisa das demandas energéticas e materiais e do impacto ambiental dos países (FISCHER-KOWALSKI, HABERL, 2015).

Finalmente, na Economia Ecológica, onde a influência de Georgescu foi mais importante (LAWN, 1999; MAYUMI, 2001; DALY, FARLEY, 2003; CECHIN, 2018), a sua teoria de fundos e fluxos também fundamenta a essência da distinção entre sustentabilidade forte e a fraca. O chamado "capital natural" pode e deve ser visto também como um fundo de serviços, e não apenas como um estoque que dá origem a um fluxo de matérias-primas. Os combustíveis fósseis,

juntamente com todas as outras matérias-primas da natureza (renováveis e não renováveis), são identificados como recursos do tipo estoque-fluxo, que são consumidos e, portanto, esgotados no ato da produção. Podemos decidir com que rapidez esgotar esses recursos, ou podemos decidir estocar para uso futuro. Em contraste, a capacidade dos ecossistemas de se manterem resilientes provendo serviços é a dimensão fundo-serviços do "capital natural". Quando uma floresta ajuda a regular o fluxo de água, processa resíduos, fornece abrigo para outras espécies ou produz as sementes necessárias para a renovação, ela não é consumida no processo. Tais serviços são providos a uma determinada taxa ao longo do tempo, e são gerados a partir de uma configuração particular de seus componentes (MUELLER, 2008).

#### EPISTEMOLOGIA DA EVOLUÇÃO E COMPLEXIDADE

*Entropy Law* é quase todo dedicado a mostrar a diferença irreduzível entre a mecânica e a segunda lei da Termodinâmica, a Lei da Entropia, uma lei evolucionária. Georgescu mostrou que a complexidade de macrossistemas biológicos ou sociais não pode ser compreendida com base numa epistemologia mecanicista (MAYUMI, 1995). A mecânica não distingue o passado do futuro e não leva em conta as mudanças qualitativas irreversíveis. Mostrou que, mesmo do ponto de vista físico, a economia não pode ignorar o tempo histórico, pois a produção econômica é uma transformação entrópica.

A principal intenção de Georgescu em *Entropy Law* foi refutar a possibilidade da economia como uma ciência axiomática. Ou seja, que, a partir de um número de axiomas sobre o objeto de estudo da economia, poder-se-ia deduzir diretamente todas as conclusões relevantes (HEINZEL, 2013). A

implicação metodológica é de que a formalização matemática teria um papel reduzido, enquanto abordagens históricas, a análise institucional e a incorporação de insights de outras disciplinas teriam um papel muito mais importante na análise e explicação dos fenômenos centrais da economia (HEINZEL, 2013). No entanto, o livro não foi discutido pelos economistas mais proeminentes da época. O mais estranho é que essa contribuição não tenha recebido sequer a atenção do campo especializado da filosofia e metodologia econômica, que tomou forma no final da década de 1970. Entre as poucas influências, o trabalho *More Heat than Light*, de Philip Mirowski (1989), sobre as relações entre a mecânica clássica e a teoria neoclássica, constitui uma das investigações mais desenvolvidas de um dos insights de *Entropy Law*.

Georgescu mostrou que sendo a economia um sistema aberto, é a entrada de baixa entropia que permite que ela fique longe do equilíbrio e mantenha certa organização e complexidade. O reconhecimento da irreversibilidade das transformações materiais teria sido sua mais importante contribuição (PERRINGS, 1997; BEINHOCKER, 2006). Muitas transformações materiais são irreversíveis do ponto de vista prático, mesmo que não sejam irreversíveis em teoria. Do ponto de vista econômico, não importa que um processo possa ser teoricamente reversível, dada quantidade de energia e tempo infinitos.

Para Beinhocker (2006), as duas implicações mais importantes do pensamento de Georgescu para a questão da origem do valor são que: 1) Todas as transformações e transações econômicas criadoras de valor são irreversíveis; 2) Todas as transformações e transações econômicas criadoras de valor reduzem entropia localmente dentro do sistema econômico, enquanto aumenta a entropia globalmente. A essas duas implicações, Beinhocker

(2006) deu o nome de “condições Georgescu-Roegen para a criação de valor econômico”, no seu livro que sistematizou o que existia de pesquisa na área de economia evolucionária e da complexidade.

Georgescu percebeu que a atividade econômica é fundamentalmente criação de ordem e que a evolução é o mecanismo pelo qual a ordem é criada (BEINHOCKER, 2006). O que distingue a atividade econômica dos processos biológicos é a localização dos aparatos de captura e conversão de energia. A humanidade transfere parte substancial de seu metabolismo para fora das fronteiras dos corpos biológicos, ao utilizar aparatos de produção (bens de capital), para produzir não apenas bens de consumo, mas mais bens de capital. O processo econômico tem a ver com a evolução desses aparatos de produção (GEORGESCU-ROEGEN, 1971; CECHIN, 2010), que se dá em diferentes contextos ecológicos e culturais.

Uma abordagem evolucionária significa, portanto, e em primeiro lugar, uma mudança no tipo de questão a ser respondida. Georgescu simplesmente não concordava que a economia fosse um “quebra-cabeça lógico” (GEORGESCU-ROEGEN, 1971) com todos os elementos dados, como na definição de Lionel Robbins (1935): “como dados meios são alocados para satisfazer dados fins”, dados também um estado tecnológico, institucional e de preferências individuais. O interesse de pesquisa estaria muito mais nas causas e modos pelos quais o conhecimento, as preferências, as tecnologias e as instituições, que são diversos (MULDER, VAN DEN BERGH, 2001), mudam nos processos históricos, por um lado, e, nos impactos dessas mudanças numa economia, por outro (WITT, 2008).

No último capítulo do livro *Entropy Law*, o capítulo 11, dedicado às conclusões gerais que se pode tirar

da entropia e da evolução para as ciências econômicas, algumas considerações merecem destaque. Georgescu chama a atenção para o fato de que nós humanos precisamos de um código para guiar nossas complexas atividades sociais de maneira tolerável. Esse código é a tradição. O processo biológico faz com que um conjunto de genes seja transmitido de uma geração para outra. A tradição faria o mesmo para as instituições. As diferentes tradições influenciam diretamente as diferentes visões de mundo e racionalidades. Por isso, para Georgescu, quando os economistas falam em “irracionalidade”, estão deixando a análise positiva de lado e usando um critério normativo, mesmo que implicitamente. O fazendeiro-investidor nos EUA e uma família agricultora de subsistência no sertão do Piauí aparecem um para o outro como “irracional”. Claro, vivem em nichos ecológicos diferentes, e cada um tem uma visão de mundo e cultura diferente da do outro. O economista deveria fazer mais do que simplesmente chamar um dos comportamentos de “irracional”. Em primeiro lugar, deveria admitir que comportamentos são diferentes, depois buscar as razões nas diferentes trajetórias de evolução cultural que podem explicar tal diversidade, e, finalmente, avaliar as consequências econômicas dessas diferenças. Georgescu afirma que a maior parte das políticas de desenvolvimento econômico ignora a profunda influência que as diferentes visões de mundo, racionalidades e instituições têm no processo econômico. Ora, essa é exatamente a conclusão do livro *WEIRDest People in the world*, de Joseph Henrich (2020), recheado de evidências históricas, experimentais, fisiológicas, psicológicas, econômicas, e da antropologia.

Henrich (2020) mostra que as instituições, tecnologias, práticas e linguagens moldam não apenas o que pensamos, mas também como pensamos, raciocinamos, e percebemos o mundo. Certos traços psicológicos comuns em sociedades

*WEIRD* (acrônimo para se referir às sociedades ocidentais, educadas, industrializadas, ricas, democráticas), e que emergiram primeiro na Europa - por exemplo, confiança em estranhos, tolerância às diferenças, e uma abertura para a novidade - favoreceram redes sociais extensas, através das quais diversas ideias, práticas, técnicas fluíram e se combinaram. Isso teria estimulado a aceleração de inovações. Instituições formais, normas sociais e psicologias culturais coevoluem de maneiras que se reforçam mutuamente ao longo dos séculos, o que explica por que não se pode simplesmente transplantar as instituições políticas, legais ou religiosas de uma população para outra e esperar que operem de maneira semelhante (HENRICH, 2020). Nesse sentido, é contemporânea a visão de Georgescu que liga a cultura ao comportamento econômico e aponta o papel do cientista social aplicado e do economista.

#### UMA NOTA SOBRE O DECRESCIMENTO

A visão entrópica do processo produtivo é considerada como o fundamento analítico da pesquisa e movimento em torno do “decrescimento”, uma vez que aponta para a noção de limites biofísicos para o crescimento da economia. O decrescimento planejado da produção e consumo agregados é visto como um objetivo da sociedade (KALLIS *et al.*, 2012). Seria injusto contestar a influência histórica de Georgescu, mas isso significa que ele próprio era um defensor do decrescimento enquanto objetivo das sociedades (MISSEMER, 2017)?

Se a busca por essa resposta se der no livro *Entropy Law*, a resposta é não. Tampouco se decrescimento for definido como a diminuição da produção agregada, medida pelo PIB, que permanece, como o crescimento, uma ideia quantitativa e a-histórica. No

livro, está clara a distinção entre crescimento e desenvolvimento. Enquanto o crescimento é um processo quantitativo que mede apenas expansões e recessões no nível de atividade econômica, o desenvolvimento envolve mudanças qualitativas e teria sua força na capacidade organizacional flexível de uma economia de criar novos processos produtivos, em vez de na capacidade de produzir mais bens a partir das plantas industriais existentes.

Devido à falta de atenção que *Entropy Law* recebeu dos economistas neoclássicos, Georgescu desenvolveu uma aliança com o Clube de Roma, e passou a participar do debate em torno do relatório *Limits to Growth*, criando uma audiência específica, mais interessada em criticar o *modus operandi* das economias industriais de uma perspectiva ambientalista (LEVALLOIS, 2010). Foi nesse contexto, em debate com defensores de um “crescimento zero” e de uma “condição estacionária” (DALY, 1972), que Georgescu (1975; 1977) leva ao limite lógico o raciocínio sobre o assunto, ao dizer que qualquer taxa de crescimento, positiva, zero, e mesmo negativa, acaba por esgotar o estoque de recursos exauríveis. Os defensores do “crescimento zero” e da “condição estacionária” raciocinaram como se a negação do crescimento produzisse um estado estacionário, mas a maioria dos argumentos a favor da condição estacionária funciona ainda melhor para um estado de declínio (GEORGESCU-ROEGEN, 1975;1977). Georgescu queria deixar claro que a lei da entropia levará a economia global a um declínio, mesmo que num futuro longínquo. Nesse sentido, em vez de enfatizar o decrescimento como objetivo social e político, ele estava simplesmente nos lembrando de que a humanidade é mortal (LEVALLOIS, 2010), e que “crescimento zero” e “condição estacionária” seriam “mitos de salvação ecológica” que criam uma ilusão de controle e de que o problema entrópico e o conflito social da humanidade estariam resolvidos.

Foi apenas em 1982, num artigo publicado em francês, que Georgescu usou a expressão “decrescimento” de maneira mais explícita, e como algo intencional. Lá ele dizia que uma estratégia conservacionista, quanto ao uso de combustíveis fósseis, deveria ser implementada para que a humanidade tenha mais tempo para esperar a descoberta da próxima dádiva tecnológica de conversão energética. Ou, na ausência de tal dádiva, para transitar lentamente e sem grandes rupturas para uma espécie de retorno a uma tecnologia baseada na biomassa. Se esse retorno se fizer necessário, a profissão dos economistas deixaria de se preocupar exclusivamente com o crescimento econômico, e passaria a buscar os critérios ótimos para planejar o decrescimento (GEORGESCU-ROEGEN, 1982, p. 19). Mesmo nesse trecho, Georgescu estava apenas revelando 1) sua dúvida legítima de que uma nova tecnologia viável seria capaz de substituir, num futuro próximo, a era da combustão de recursos energéticos fósseis; e 2) seu ceticismo quanto à capacidade de uma tecnologia energética baseada no uso de biomassa de manter as economias industriais crescendo ano após ano.

Há controvérsia, portanto, na afirmação de que o “decrescimento” seria um projeto de Georgescu. O que mais se aproxima de um projeto com recomendações foi seu “Programa Bioeconômico Mínimo”, publicado quatro anos depois de *Entropy Law*. Se as medidas tecnológicas, de políticas públicas e éticas de seu programa fossem implementadas, a produção agregada se adaptaria de maneira imprevisível. Não dá para saber, *a priori*, se aumentaria ou diminuiria. Não era uma preocupação para Georgescu (MISSEMER, 2017).

## LADO B: O QUE EXPLICA A FALTA DE INFLUÊNCIA DE *ENTROPY LAW* NA COMUNIDADE DOS ECONOMISTAS?

A partir dessa obra de 1971, os livros e artigos subsequentes de Georgescu não receberam praticamente nenhuma discussão crítica de economistas (BLAUG, 1985). O livro, no entanto, recebeu quatro resenhas favoráveis no *Journal of Economic Issues*, um jornal patrocinado pela *Association for Evolutionary Economics*, que representava uma corrente de economia institucional heterodoxa. Georgescu não parecia concordar com essa divisão da disciplina em ortodoxia *versus* heterodoxia, e não parecia disposto a aceitar seu trabalho se enquadrando na última categoria (LEVALLOIS, 2010). Afinal, ele era membro da Sociedade Econométrica e já havia sido louvado por Paul Samuelson como "o estudioso dos estudiosos e o economista dos economistas". O público-alvo de *Entropy Law* era o cerne da profissão, os principais teóricos neoclássicos, e não grupos periféricos e correntes de pensamento então marginais. O objetivo de Georgescu era substituir a corrente neoclássica pela "bioeconomia". Isso explica também sua ausência da Sociedade Internacional de Economia Ecológica e a sua recusa em participar do conselho editorial da revista *Ecological Economics* (LEVALLOIS, 2010).

Então o que explica a influência praticamente nula da obra máxima de Georgescu no cerne da profissão? Cechin (2010) e Cechin e Veiga (2010) afirmam que a incompatibilidade epistemológica do pensamento de Georgescu com a corrente Neoclássica fez com que a profissão o isolasse cada vez mais. Como um Cavalo de Tróia, a noção de entropia teria implicações epistemológicas drásticas para todo o edifício teórico do Neoclássico. Ou seja, a explicação estaria na filosofia da ciência.

No entanto, revisitando a entrevista (CECHIN, 2010) com o ex-presidente do Banco Central Ibrahim Eris, um dos poucos a terminar uma tese sob orientação de Georgescu, e consultando a tese de Iglesias (2009) sobre mal-entendidos e falhas na comunicação de Georgescu com seus pares, serão mencionadas aqui algumas explicações "Lado B". É possível que 3 fatores de ordem muito mais sociológica tenham sido determinantes para o seu isolamento:

(1) Não fazia parte dos centros importantes - MIT, Harvard, Yale, Stanford, Princeton - e acabou geograficamente isolado em Nashville.

(2) Não teve formação "normal" de economista. Foi um autodidata em economia, e cientista do tipo enciclopedista. Achava-se obrigado a entender as principais teorias e conceitos das ciências naturais, e não era superficialmente. No entanto, o século XX foi a era da especialização – pegar um pedacinho da sua ciência e contribuir a vida inteira para aquilo. Portanto, para a comunidade dos economistas a sua escrita tinha um estilo muito difícil e com muitas referências intimidantes.

(3) Sua personalidade e falta de tato social teriam atrapalhado muito. Iglesias (2009) examinou várias trocas de correspondências de Georgescu com outros intelectuais para obter uma compreensão completa das falhas de comunicação, e questiona a narrativa de que o fracasso tenha sido apenas do lado do receptor (ou seja, dos leitores e pares de Georgescu). A arrogância e o narcisismo de Georgescu (IGLESIAS, 2009), aliados à sua incapacidade de se dirigir aos leitores de uma maneira menos hermética, teriam prejudicado severamente oportunidades de colaboração e publicação em veículos de imprensa com público mais amplo.

Nesse sentido, é um tanto trágico que parte da explicação do porquê um livro tão profundo possa

ter sido ignorado pela profissão passe pela expectativa (irreal?) de Georgescu de que suas formulações seriam abraçadas pelo *mainstream* neoclássico, pela sua erudição extemporânea em diversos campos do conhecimento, mas também pela sua personalidade e falta de habilidades sociais.

[1] Ao longo do texto, será feita referência apenas a *Entropy Law*.

[2] Professor Adjunto do Departamento de Economia da Universidade de Brasília (UnB). Coordenador do Mestrado

Profissional em Rede Nacional para Ensino das Ciências Ambientais na associada UnB (ProfCiamb-UnB). Pesquisador do Centro de Estudos em Economia, Meio Ambiente e Agricultura (CEEMA-UnB) e do Núcleo de Estudos em Agroecologia (NEA-UnB). Vice-presidente eleito da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica (2022-2023).

[3] Ao longo do texto será feita referência apenas a Georgescu, uma parte do sobrenome.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEINHOCKER, Eric D. **The Origin of Wealth: Evolution, Complexity, and the Radical Remaking of Economics**. Boston: Harvard Business School Press/Random House, 2006.

BLAUG, Mark. **Great Economists Since Keynes**. Barnes & Noble Books, 1985

CECHIN, Andrei; VEIGA, José E. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. **Revista de Economia Política**, v. 30, 3 (119), p. 438-454, 2010.

CECHIN, Andrei. **A natureza como limite da economia: a contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen**. São Paulo: Edusp/Senac, 2010.

CECHIN, Andrei. O fundamento central da economia ecológica. Em: MAY, H. P. (org.). **Economia do Meio Ambiente: teoria e prática**. 3a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

DALY, Herman. In defense of a steady-state economy. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 54, p. 945–954, 1972

DALY, Herman. E.; FARLEY, Joshua. **Ecological Economics: Principles and Applications**. Washington: Island Press, 2003.

FISCHER KOWALSKI, Marina; HABERL, Helmut. Social metabolism: a metric for biophysical growth and degrowth. Em: ALIER, Joan Martinez; MURADIAN, Roldan. **Handbook of Ecological Economics**. Edgar Elgar, 2015.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. Process in Farming Versus Process in Manufacturing: a Problem of Balanced Development, **Conference of the International Economic Association**, Roma, setembro de 1965.

\_\_\_\_\_. The Economics of Production. **American Economic Review**, Papers and Proceedings, v. 60, n. 2, 1970.

\_\_\_\_\_. **The Entropy Law and the Economic Process**. Cambridge: Harvard University Press, 1971.

\_\_\_\_\_. Energy and economic myths. **South Econ Journal**, v. 41, p. 347–381, 1975

\_\_\_\_\_. The Steady State and Ecological Salvation: a Thermodynamic Analysis. **BioScience**, v. 27, n. 4, 1977.

\_\_\_\_\_. La dégradation entropique et la destinée prométhéenne de la technologie humaine. **Économie appliquée**, v. 35, n. 1-2, p. 1-26, 1982.

GIAMPIETRO, Mario, RAMOS-MARTIN, Jesus. Multi-scale integrated analysis of sustainability: a methodological tool to improve the quality of narratives. **International Journal of Global Environmental**, v. 5, n. 3-4, p. 119-141, 2005.

HEINZEL, Christoph. Schumpeter and Georgescu-Roegen on the foundations of an evolutionary analysis. **Cambridge Journal of Economics**, v. 37, n. 2, p. 251-271, 2013.

HENRICH, Joseph. **The WEIRDest People in the World: How the West Became Psychologically Peculiar and Particularly Prosperous**. Farrar, Straus and Giroux, 2020.

IGLESIAS, Samuel L. **The Miscommunications and Misunderstandings of Nicholas Georgescu-Roegen**. Graduation Thesis in Economics. Trinity College of Duke University. Durham, North Carolina, 2009.

KALLIS, Giorgios; KERSCHNER, Christian; MARTINEZ-ALIER, Joan. The economics of degrowth. **Ecological Economics**, v. 84, p. 72-180, 2012.

KURZ, Heinz D.; SALVADORI, Neri. Fund-flow versus flow-flow in production theory: Reflections on Georgescu-Roegen's contribution. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 51, p. 487-505, 2003.

LAWN, Philip. On Georgescu-Roegen's Contribution to Ecological Economics. **Ecological Economics**, v. 29 (1), 1999.

LEVALLOIS, Clement. Can de-growth be considered a policy option? A historical note on Nicholas Georgescu-Roegen and the Club of Rome. **Ecological Economics** v. 69, p. 2271-2278, 2010.

MARZETTI, Giuseppe V. The fund-flow approach: A critical survey. **Journal of Economic Surveys** v. 27, p. 209-233, 2013.

MAYUMI, Kozo. Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994): An admiral epistemologist. **Structural Change and Economic Dynamics**, p. 261-65, 1995.

MAYUMI, Kozo. **The Origins of Ecological Economics: the Bioeconomics of Georgescu-Roegen**. Londres: Routledge, 2001.

MIROWSKI, Philip. **More Heat than Light: Economics as Social Physics, Physics as Nature's Economics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989

MISSEMER, Antoine. Nicholas Georgescu-Roegen and degrowth, **The European Journal of the History of Economic Thought**, v. 24, n. 3, p. 493-506, 2017.

MORRONI, Mario. **Production process and technical change**. Cambridge university press, 1992.

MUELLER, Charles C. Sustainable Development: Conceptualizations and Measurement. **Revista de Economia Política**, v. 28, n. 2, 2008.

MULDER, P.; VAN DEN BERGH, J.C.J.M. "Evolutionary Economic Theories of Sustainable Development". **Growth and Change**, v. 32, n. 1, 2001.

PERRINGS, Charles. Georgescu-Roegen and the Irreversibility of Material Processes, **Ecological Economics**, v. 22, n. 3, 1997.

PIACENTINI, Paolo. A time-explicit theory of production: analytical and operational suggestions following a fund–flow approach. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 6, p. 461–48, 1995.

RAMOS-MARTIN, Jesus; GIAMPIETRO, Mario; MAYUMI, Kozo. On China's Exosomatic Energy Metabolism: an Application of Multi-Scale Integrated Analysis of Societal Metabolism. **Ecological Economics**, v. 63, n. 1, 2007.

ROBBINS, Lionel. **An Essay on the Nature and Significance of Economic Science**. 2ª ed. Londres: Macmillan and Company, 1935.

SCHNEIDER, Eric D.; KAY, James. Life as a Manifestation of the Second Law of Thermodynamics. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 19, n. 6- 8, 1994.

SCHNEIDER, Eric D.; SAGAN, Dorion. **Into the Cool: Energy Flow, Thermodynamics and Life**. Chicago: University of Chicago Press, 2005.

TANI, P. Flows, funds, and sectorial interdependence in the theory of production. **Political Economy Studies in the Surplus Approach**, v. 4, n. 1, p. 3–21, 1988.

WITT, U. Evolutionary Economics. Em: Steven N. Durlauf & Lawrence E. Blume (orgs.), **The New Palgrave Dictionary of Economics**. 2ª ed. Nova York: Palgrave, 2008.

## BREVES APONTAMENTOS SOBRE ESTUDOS DE METABOLISMO SOCIOECONÔMICO

Layza da Rocha Soares[1]

Pelo menos desde a década de 1970, a crise ecológica que vivenciamos hoje já havia sido anunciada pelo grande autor Georgescu-Roegen (1971). Este que com base na segunda lei da termodinâmica, nos alertou sobre os processos físicos que acompanham o crescimento econômico, o qual gera efeitos irreversíveis no meio ambiente através da transformação de produtos e materiais de baixa entropia, como matérias primas, para outros de alta entropia, como por exemplo, os resíduos.

O autor afirma que a lei da entropia deve ser considerada no raciocínio econômico ao mesmo tempo em que renuncia à representação do processo econômico realizado pela teoria neoclássica. Ele destaca a existência de um *trade-off* permanente entre crescimento econômico e sustentabilidade ambiental, elucidando que esse crescimento não deve ser ilimitado devido à capacidade de suporte do ecossistema global, e indica que medidas devem ser tomadas para que o limite do meio ambiente não seja alcançado (GEORGESCU-ROEGEN, 1971; 1975).

Esta grande contribuição teórica de Georgescu-Roegen, aqui apresentada de modo muito simplista, foi fundamental para a compreensão da economia ecológica, todavia, não foi incorporada na maior parte do desenvolvimento ou replicação da teoria econômica. E assim, tem sido observada uma busca contínua pelo crescimento econômico o qual tem gerado aumento das pressões ambientais, tanto pela emissão de poluentes e geração de resíduos quanto pelo maior uso de recursos naturais.

As emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE) cresceram continuamente nos últimos 50

anos e as consequências, como demonstra o IPCC (2021), têm sido de aumento da temperatura global e seus respectivos impactos ambientais e sociais. A principal causa dessas emissões é a queima de combustíveis fósseis - e as atividades relacionadas a este processo, como geração de energia -, seguida por outras transformações aceleradas dos recursos naturais.

De acordo com o Steffen (2015), dos nove limites planetários que regulam a estabilidade e resiliência do sistema terrestre, cinco já foram alcançados - perda de biodiversidade, mudanças climáticas, uso do solo, ciclo de nitrogênio, destruição da camada de ozônio [2] -, dois serão alcançados em breve - acidificação dos oceanos, consumo de água doce -, e outros dois ainda não foram quantificados - aerossóis e poluição de novos elementos químicos. Ultrapassar essas fronteiras planetárias significa aumentar o risco de gerar mudanças ambientais abruptas ou irreversíveis em grande escala que afetam o desenvolvimento humano.

Quanto ao maior uso de recursos naturais, entre 1970 e 2017, a extração mundial de recursos materiais [3] aumentou de 27 bilhões de toneladas para 92 bilhões (com crescimento de 241%), enquanto o PIB mundial (em US\$ de 2010) foi de US\$19 trilhões para US\$80 trilhões (321%), ao mesmo tempo em que a população mundial teve um crescimento de 198% (IRP, 2019b). Mas é neste século, entre 2000 e 2017, que a taxa de crescimento da extração de recursos naturais aumenta exponencialmente (71%) superando a taxa de

crescimento do PIB (60%), ou seja, cada unidade do PIB passou a utilizar mais recursos naturais.

Estes resultados sobre extração de recursos naturais são oriundos de uma análise de metabolismo social da população mundial, através da qual é possível observar os fluxos e a acumulação de recursos materiais relacionados ao crescimento da economia global.

Com base nesses estudos que este artigo tem como objetivo discutir a importância de pesquisas sobre metabolismo socioeconômico as quais são relevantes para compreensão da dimensão biofísica da economia e, portanto, da contribuição dos processos econômicos no consumo e no esgotamento dos recursos naturais. Para atingir este propósito será apresentada uma breve revisão da literatura relacionada com alguns resultados empíricos para países da América Latina e Caribe.

## METABOLISMO SOCIAL

O conceito de “metabolismo” surgiu no século XIX, nas obras de Moleschott, von Liebig, Boussingault, Arrhenius e Podolinsk, denotando a troca de energia e substâncias entre organismos e o ambiente, e a totalidade das reações bioquímicas nos sistemas vivos. Segundo D’Alisa, Demaria e Kallis (2016), Marx e Engels foram os primeiros a usar o termo “metabolismo” para lidar com a dinâmica da transformação e da evolução socioambiental. E hoje há várias percepções sobre o tema, como a noção de metabolismo da ecologia política, que

“[...] sinaliza a ruptura entre os seres humanos e a natureza sob o capitalismo, as relações sócias de poder que regem o fluxo de materiais e recursos na produção dos espaços urbanos ou o aumento dos fluxos

globais de energias e materiais que causam conflitos nas fronteiras das *commodities* do mundo” (D’ALISA, DEMARIA E KALLIS, 2016, p. 78 e 79).

Um elevado número de estudos empíricos sobre metabolismo social, ou socioeconômico se concentram mais na mensuração do processo de fluxos e acumulação de materiais em uma economia. Estes estudos geralmente se baseiam no método da Contabilidade do Fluxo Material (*Material Flow Accounting* – MFA) para calcular indicadores dos fluxos e o balanço de materiais em uma economia, medidos em toneladas, e são utilizados para obter contas e saldos que demonstram quantidades físicas de *inputs* (extração de biomassa, combustíveis fósseis, minérios e minerais e importações), que entram em uma economia, a acumulação material desta, e os *outputs* (exportações, resíduos e emissões) que vão para a natureza ou outras economias (FISCHER-KOWALSKI; AMANN, 2001; KRAUSMANN *et al.*, 2015).

Esta abordagem possui algumas limitações, como aponta Giampietro (2006), pois restringe diversas informações, baseia-se em uma única escala com agregação de diferentes tipos de dados. Entretanto, a aplicação do método tem colaborado substancialmente para compreensão da dimensão biofísica do crescimento econômico, assim como de sua contribuição no elevado consumo de recursos naturais.

Essa metodologia foi desenvolvida inicialmente por Ayres e Kneese (1968 *apud* FISHER-KOWALSKI; AMANN, 2001), os quais afirmavam que o crescimento da taxa de transferência de material das sociedades humanas poderia exceder a capacidade de suporte da Terra. Os autores se baseavam na perspectiva de que a economia funcionava como um

sistema de trocas de materiais com o meio ambiente, e apontavam que o crescimento econômico poderia ser contínuo se pudéssemos reduzir a quantidade de material utilizado na economia por unidade monetária.

A MFA considera que a economia funciona como um sistema socioeconômico e biofísico aberto, e, por isso, se sustenta através da troca de materiais e energia com o seu meio ambiente (outro sistema biofísico).

Os conceitos de MFA se baseiam no princípio da física de conservação das massas [4], o qual afirma que a matéria não pode ser criada nem destruída por qualquer processo físico, dessa forma, compreende que toda a matéria que entra no sistema – *input* - em um determinado período de tempo é acumulada dentro do sistema ou exportada para fora dele – *output* (FISCHER-KOWALSKI; AMANN, 2001; KRAUSMANN *et al.*, 2015).

#### ANÁLISES EMPÍRICAS SOBRE METABOLISMO SOCIAL DA AMÉRICA LATINA

Dentre os inúmeros estudos sobre metabolismo social destacamos aqui alguns que analisam o fluxo material de países da América Latina e Caribe, de onde historicamente são extraídos e exportados grandes quantidades de recursos minerais e agrícolas. E é a segunda região do globo que mais extrai recursos materiais, atrás apenas da Ásia (IRP, 2019a).

West e Schandl (2013) analisam o metabolismo social e a eficiência do uso de recursos para os países da América Latina e Caribe no período entre 1970 e 2008. Os autores demonstram que a taxa metabólica, consumo de recursos materiais pela

população, desses países passou de 7,6 para 13,6 toneladas *per capita*, e foi de 13% para 30% superior à média mundial. Os autores argumentam que o consumo de recursos naturais e a intensidade material da região são elevadíssimos devido à grande exportação de produtos primários, os quais, na verdade, são consumidos fora da região, enquanto as emissões e resíduos associados permanecem na América Latina e não são necessariamente considerados no cálculo do indicador de Consumo Material Doméstico da MFA.

Russi *et al.* (2008) avaliam o metabolismo social do Chile, Peru, Equador e México e apontam a necessidade de investigações mais detalhadas que verifiquem até que ponto o processo de desmaterialização relativa, que vem ocorrendo em muitos países europeus, está relacionado ao acoplamento de recursos nos países da América Latina.

Eisenmenger, Martín e Schandl (2007), que avaliaram o metabolismo social e energético do Brasil, Chile e Venezuela, apontam que esse papel importante dos países latino-americanos e caribenhos como provedores de matérias-primas somado ao crescimento dos respectivos metabolismos sociais necessários para o desenvolvimento socioeconômico da região, culminará em um crescimento cada vez maior da extração de recursos naturais. E conseqüentemente, como indica West e Schandl (2013), a região enfrentará graves pressões ambientais decorrentes do crescimento das demandas externas e internas, caso esse modelo de desenvolvimento econômico, com base na exportação de produtos de baixo valor agregado persista.

Alonso e Regueiro (2021) elaboraram uma análise do impacto ambiental na Argentina com indicadores

de consumo de materiais através do MFA para o período de 1990 a 2017. Os autores demonstram que a Extração Doméstica manteve um crescimento praticamente contínuo em todo o período, exceto em dois momentos de crise econômica em 2001 e 2008, em que houve queda na demanda das exportações. Evidenciam uma alta correlação da extração de recursos com o aumento do PIB, e uma balança comercial física nitidamente exportadora.

Soares (2015) evidencia que o consumo *per capita* de recursos naturais no Brasil passou de 7,8 toneladas, em 1970, para 24 em 2013. Nesse mesmo intervalo de tempo, houve um aumento da intensidade material (consumo doméstico material por unidade do PIB) de 26%, demonstrando que o crescimento econômico ocorrido no país não foi acompanhado por um aumento da produtividade do uso de recursos como matéria prima. A autora também aponta que o país tem sido cada vez mais ineficiente em criar renda a partir de suas exportações de recursos naturais, pois cada tonelada importada se tornou progressivamente mais cara que cada tonelada exportada no período da análise. E, além disso, apresenta um crescimento da proporção de recursos não renováveis extraídos e consumidos.

Essa intensidade material característica não só do Brasil, assim como de outros países latino-americanos e caribenhos está diretamente relacionada ao modelo de desenvolvimento econômico seguido por essas economias, com base nas exportações de produtos primários que se acentuam a partir de meados da primeira década deste século. Em outras palavras, a dinâmica metabólica desses países é de um crescimento econômico acoplado na expansão de atividades que utilizam grandes proporções de recursos agrícolas e minerais.

E a ampliação dessas atividades produzem grandes e inevitáveis intervenções no território com inúmeros danos ambientais - tais como desmatamento, redução da biodiversidade, consumo de água, emissão de poluentes, entre outros - e afeta o modo de vida de diversas populações (quilombolas, ribeirinhos, pequenos agricultores, indígenas e outras).

O papel desempenhado por esses países latino-americanos se dá através de sua posição subordinada diante da divisão internacional do trabalho, e ocorre por meio da desindustrialização [5], maior especialização na produção de *commodities*, com expansão da monoprodução e ocupação dos territórios cada vez mais destrutiva, em nome do aumento da produtividade e eficiência econômica (DELGADO, 2012; SVAMPA, 2013)

## DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos sobre metabolismo social dos países da América Latina evidenciam uma parte da crise ecológica pela qual estamos passando e da qual Georgescu-Roegen em 1971 já nos alertara. Mas é uma parcela da crise que demonstra o caminho pelo qual estamos trilhando: de desenfreada e acelerada extração e consumo de recursos naturais, conduzidos pela busca incessante de um crescimento econômico que compõe e amplia desigualdades sociais (SOARES, 2020).

Esse caminho, que leva a transformação desses recursos com maior geração de resíduos e emissões, tem nos conduzido a um abismo de desastres ecológicos e de condições deletérias para as gerações futuras, as quais terão suas possibilidades de reprodução social reduzidas.

Como afirmou Georgescu-Roegen (1971, 1975) e outros autores como Daly (2005), esse crescimento econômico ilimitado não é sustentável devido à capacidade regenerativa e de absorção do ecossistema global. E os estudos sobre metabolismo social demonstram parte dessa capacidade de carga do ecossistema que as economias estão ultrapassando.

Ainda que os trabalhos sobre fluxo material com base em MFA tenham algumas limitações, eles são fundamentais para compreender a dinâmica biofísica dos processos econômicos. E os estudos sobre o metabolismo social podem ser mais apurados em combinação com a análise da Economia e Ecologia Política, o que permite estabelecer interações entre consumo de materiais e energia por alguns atores, as

relações geopolíticas que regem o fluxo de materiais e recursos, bem como os impactos ambientais decorrentes.

[1] Doutoranda em Economia pela Universidade Federal Fluminense – UFF

[2] Felizmente, a destruição da camada de ozônio foi revertida, devido aos esforços dos países perante o Protocolo de Montreal.

[3] Recursos naturais extraídos e modificados pela atividade humana com o propósito de gerar valor econômico.

[4] Princípio fundamentado na Primeira Lei da termodinâmica.

[5] Redução da participação da indústria no emprego e no PIB.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, Pablo, REGUEIRO, Rosa. Extractivismo. **Regional and Sectoral Economic Studies**, v. 21-1, 2021.
- D'ALISA, Giacomo, DEMARIA, Federico, KALLIS, Giorgios. **Decrescimento**: vocabulário para um novo mundo. Porto Alegre: Tomo Editorial, 2016.
- DALY, H. E. Economics in a full world. **Scientific American**, v. 293, n.3, p. 100-107, Sept. 2005.
- DELGADO, Guilherme. **Do capital financeiro na agricultura à economia do agronegócio**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2012.

EISENMENGER, Nina, MARTÍN, Jesus R., SCHANDL, Heinz. Análisis del metabolismo energético y de materiales de Brasil, Chile y Venezuela. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 6, p. 17-39, 2007.

FISCHER-KOWALSKI, Marina, AMANN, Christof. Beyond IPAT and Kuznets Curves: Globalization as a Vital Factor in Analysing the Environmental Impact of SocioEconomic Metabolism. Institute for Interdisciplinary Studies of Austrian Universities (IFF). **Population and Environment**, Human Sciences Press, Inc., vol. 23, no. 1, Sept. 2001.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The Entropy Law and the Economic Process**. Harvard University Press, 1971.

\_\_\_\_\_. Energy and Economics Myths. **Southern Economic Journal**, v. 41, n. 3, 1975.

GIAMPIETRO, Mario. Comments on “The Energetic Metabolism of the European Union and the United States” by Haberl and Colleagues. Theoretical and Practical Considerations on the Meaning and Usefulness of Traditional Energy Analysis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 10, n. 4, 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Relatório**. Cambridge University Press. In Press, 2021.

INTERNATIONAL RESOURCE PANEL - IRP. Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. A Report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme. **Relatório**. Nairobi, Kenya, 2019 a.

INTERNATIONAL RESOURCE PANEL – IRP. Global Material Flows Database. Disponível em: <http://www.materialflows.net/>. Acesso em: 6 jun. 2019, 2019b.

KRAUSMANN, Fridolin *et al.* Economy – wide Material Flow Accounting: Introduction and Guide. Version 1.0. **Social Ecology Working Paper** 151, Vienna, fev. 2015.

STEFFEN, Will *et al.* 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science** v. 347, n. 736, 13 de fev. 2015.

RUSSI, Daniela *et al.* Material Flows in Latin America. A comparative Analysis of Chile, Ecuador, Mexico, and Peru, 1980-2000. **Journal of Industrial Ecology**, v. 12, n. 5/6, p. 704-720, 2008.

SOARES, Layza R.. **Crescimento econômico e desacoplamento de recursos naturais e impactos ambientais: evidências para o Brasil**. Dissertação (Mestrado em Economia) Universidade Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, São Paulo, 2015.

SOARES, Layza R., 2020, O neoliberalismo e sua impossibilidade de solucionar os problemas ambientais, **Revista Fim do Mundo**, 2020.

SVAMPA, Maristella. Consenso de los commodities y lenguajes de valoración en America Latina. **Nueva Sociedad**, n. 244, mar./abr. 2013.

WEST, James; SCHANDL, Heinz. Material use and material efficiency in Latin America and the Caribbean. **Ecological Economics**, v. 94, p. 19-27, 2013.

## MUDANÇA CLIMÁTICA: UMA REALIDADE DRAMÁTICA

Clóvis Cavalcanti [1]  
Francinete Francis Lacerda [2]

O propósito desta nota é retratar de forma breve uma situação constatada em tons de máxima gravidade pelo esperado documento do *IPCC* (sigla em inglês do Painel Intergovernamental da Mudança Climática) – seu XVI Relatório de Avaliação, de 2021, tornado público em 8 de agosto último. O IPCC é um corpo de cientistas convocado pelas Nações Unidas, constituído de 195 países e mais de mil renomados pesquisadores. Os treze capítulos do relatório técnico fornecem uma avaliação das evidências atuais sobre a ciência física das mudanças climáticas, a avaliação do conhecimento obtido a partir de observações, reanálises, arquivos de paleoclima e simulações de modelos climáticos, bem como processos climáticos físicos, químicos e biológicos.

As nações demoraram por tanto tempo para reduzir suas emissões de combustíveis fósseis que não podem mais impedir que o aquecimento global se intensifique nos próximos 30 anos, embora ainda reste uma brecha para evitar um futuro mais angustiante. Esta é uma conclusão do importante novo relatório científico das Nações Unidas concluído há pouco sobre a mudança climática – o XVI Relatório de Avaliação, de 2021, do IPCC. De fato, os humanos já aqueceram o planeta cerca de 1,1 grau Celsius desde o século 19, principalmente pela queima de carvão, petróleo e gás para obter energia – determinando o caráter antropogênico do aquecimento global, unanimemente considerado pelos cientistas. As consequências disso podem ser sentidas em todo o mundo: só neste verão, ondas de calor devastadoras mataram centenas de pessoas nos Estados Unidos e no Canadá, inundações

devastaram a Alemanha e a China e incêndios florestais ficaram fora de controle na Sibéria, Turquia e Grécia. No Brasil, secas nas regiões sul e sudeste ameaçam a produção de hidrelétricas. Mas isso é apenas o começo, de acordo com o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, corpo de respeitados cientistas convocado pelas Nações Unidas.

Mesmo que as nações comecem a reduzir drasticamente as emissões hoje, o aquecimento global total provavelmente aumentará em torno de 1,5 grau Celsius nas próximas duas décadas, um futuro mais quente, que agora está essencialmente fixado. Com 1,5 grau de aquecimento, descobriram os cientistas, os perigos aumentam consideravelmente. Quase 1 bilhão de pessoas em todo o mundo poderiam ser escaldadas em ondas de calor potencialmente fatais mais frequentes. Centenas de milhões mais lutariam por água por causa de secas severas. Algumas espécies de animais e plantas vivas irão desaparecer. Os recifes de coral, que sustentam a pesca em grandes áreas do globo, sofrerão perdas em massa repetidas vezes. “Podemos esperar um salto significativo em condições climáticas extremas nos próximos 20 ou 30 anos”, disse Piers Forster, cientista climático da Universidade de Leeds e um das centenas de especialistas internacionais que ajudaram a escrever o relatório. “Infelizmente, as coisas provavelmente ficarão piores do que hoje.”

Nem tudo está perdido, entretanto, a humanidade pode evitar que o planeta fique ainda mais quente. Fazer isso exigiria um esforço coordenado entre os

países para parar de adicionar dióxido de carbono à atmosfera por volta de 2050, o que implicaria uma rápida mudança dos combustíveis fósseis começando imediatamente, bem como potencialmente removendo grandes quantidades de carbono do ar. Se isso acontecesse, o aquecimento global provavelmente pararia e se estabilizaria em torno de 1,5 grau Celsius, conclui o relatório. Mas se as nações falharem nesse esforço, as temperaturas médias globais continuarão subindo – potencialmente passando de 2 graus, 3 graus ou mesmo 4 graus Celsius, em comparação com a era pré-industrial. O relatório descreve como cada grau adicional de aquecimento traz perigos muito maiores, como inundações e ondas de calor cada vez mais violentas, o agravamento das secas e o aumento acelerado do nível do mar, o que pode ameaçar a existência de algumas nações insulares – e de cidades litorâneas do Brasil.

Quanto mais quente o planeta, maiores os riscos de se cruzar perigosos “pontos de inflexão” (“*tipping points*” em inglês), como o colapso irreversível das imensas camadas de gelo da Groenlândia e da Antártica Ocidental. “Não há como voltar atrás com algumas mudanças no sistema climático”, disse Ko Barrett, vice-presidente do painel e conselheira sênior para o clima da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* dos EUA. Mas, acrescentou ela, cortes de emissões imediatos e sustentados “podem realmente fazer uma diferença no futuro climático que temos pela frente”.

Os atuais reflexos ambientais, sociais, econômicos e políticos advindos das mudanças climáticas já são os maiores enfrentados pela humanidade. As alterações do clima no planeta, decorrentes do aumento de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, onde se destaca o gás carbônico, representam desafios, principalmente, pela forma, abrangência e velocidade que estão acontecendo e

suas consequências para a vida no planeta. Estima-se que as atividades humanas tenham provocado um aumento médio na temperatura global de 1,0°C, acima dos níveis pré-industriais, com uma variação provável de 0,8°C a 1,2°C. É provável que o aquecimento global atinja 1,5°C entre 2030 e 2052, caso continue a aumentar no ritmo atual, de acordo com informações do relatório do IPCC. Projeta-se, também, o aumento dos riscos relacionados a problemas com a saúde, meios de subsistência, segurança alimentar, abastecimento de água, segurança humana e crescimento econômico.

As últimas quatro décadas foram sucessivamente mais quentes do que qualquer década anterior desde 1850, data usada como referência, que marca o início da revolução industrial, quando a queima de combustíveis fósseis passou a ser intensa, aumentando a concentração de GEE na atmosfera. As séries históricas têm evidenciado que os extremos diários de temperatura na terra estão aumentando, desde 1950 e, a partir daí, é possível notar que o sistema climático, de modo geral, vem acumulando anormalmente mais energia, acarretando aumento nas temperaturas do ar, alterações na composição química da atmosfera, desencadeando uma série de transformações que incluem mudança no padrão de precipitações, alterações do ciclo hidrológico, produzindo enchentes intensas, secas severas e frequentes ondas de calor e frio com impactos significativos e consequências na segurança alimentar, na saúde e na segurança hídrica.

## O RELATÓRIO DO IPCC E O NORDESTE

As previsões do IPCC indicam que o Brasil poderá ficar 3° C a 4° C mais quente até meados deste século e as precipitações, no Nordeste, podem

diminuir em até 40%. O Semiárido da região deve experimentar os maiores aumentos de temperatura, em média 1,5 a 2 vezes mais que a taxa global de aquecimento. O número de dias por ano em que a temperatura na região pode exceder 35°C pode ser de mais de 150 até o final do século. Estudos revelam que no Sertão do Araripe, em Pernambuco, já houve um aumento superior a 4°C na temperatura do ar em 48 anos e diminuição de 57% nos totais anuais de chuva. Essa diminuição anual das precipitações esteve acompanhada do aumento dos períodos máximos de estiagem que passaram de 20 para 35 dias e do aumento da frequência de eventos de precipitação intensa que passou de cinco para nove ocorrências por ano.

Sob essa ótica, as análises das variações de chuva e de temperatura, bem como seus impactos no balanço hídrico, são importantes para detecção dos efeitos do aquecimento global, mudanças climáticas locais e seus consequentes impactos. Outro impacto previsível é o acréscimo da evaporação e da evapotranspiração decorrente do aumento da temperatura que tende a ser especialmente danoso porque atinge todas as culturas agrícolas de sequeiro, as bacias hidrográficas e a disponibilidade hídrica do solo. Em destaque, as consequências relacionadas aos processos de desertificação – já mostrados pelo grande ecólogo pernambucano João de Vasconcelos Sobrinho (1908-1989), causados pelo desmatamento, manejo inadequado dos recursos naturais nas áreas subúmidas, secas e semiáridas, onde há comprometimento dos ecossistemas e dos sistemas produtivos, dos serviços ambientais e da conservação da biodiversidade.

Essas áreas se espalham por mais de 1.480 municípios no Nordeste e tal processo agrava-se com a mudança do clima que está intimamente relacionada à exploração em excesso de produtos florestais, às queimadas, à sobrecarga animal, ao

uso intensivo do solo por manejo inadequado e, por último, ao emprego de tecnologias não apropriadas.

Considerando as variações climáticas no Nordeste do Brasil, diante dos cenários de mudança do clima atual e futuro, estima-se que as áreas mais afetadas pelas variações climáticas na região serão o Oeste do Piauí, Sul do Ceará, Norte da Bahia e Oeste de Pernambuco, onde coincidentemente se encontram municípios com reduzido índice de Desenvolvimento Humano – IDH. A tendência de desertificação pode superar 90% do território semiárido de Pernambuco e as inundações decorrentes do aumento do nível do mar podem afetar grande parte do litoral do estado.

Estudos de impactos das mudanças climáticas na estabilidade dos biomas brasileiros revelam que o da Caatinga está entre os mais vulneráveis num cenário de aumento das temperaturas globais, o que coloca o Nordeste em alerta, uma vez que os efeitos das mudanças climáticas representam mais um fator diante da pressão de origem antrópica para a desertificação.

#### ATITUDE QUE O RELATÓRIO DO IPCC IMPÕE (O QUÊ FAZER?)

Diante dessa realidade, o quê nos resta fazer? Em primeiro lugar, necessita-se pensar no que está por trás do desastre ambiental global, subentendido na mudança climática fora de controle, que o IPCC deixa claro como ameaça que paira sobre nós. Lembremos que quando a economia cresce, utiliza mais recursos e produz mais lixo (no jargão da Física: aumenta a entropia). Isso constitui um custo ambiental (ignorado no modelo econômico que é base para fazer a economia crescer sempre mais). Na realidade, trata-se de um custo que é jogado em cima dos mais fracos – a Natureza e os excluídos – ou zerado, como acontece com as emissões

antrópicas de CO<sub>2</sub>. Faz sentido que se deseje crescer mais e mais, *ad infinitum*? Essa febre de crescimento é justificada pela intenção de se produzir mais e mais, com vistas a um consumo material cujo propósito de expansão constante é o anseio dos gestores da economia. E se faz assim porque se considera o consumo como o fim último dos programas de desenvolvimento. Supõe-se que mais consumo material signifique promoção do bem-estar humano.

A esse respeito, o economista ecológico canadense William Rees formulou um conceito, o da pegada ecológica, que demarca a extração de recursos e o lançamento de dejetos na natureza pela atividade humana. Trata-se de uma ferramenta quantitativa que estima o impacto ecológico da humanidade na ecossfera em termos de área apropriada do ecossistema (terra e água) que se usa para o processo econômico global. Em contraposição à pegada ecológica, propõe-se o conceito da biocapacidade, que indica o que a Natureza, sem seu comprometimento, pode fornecer de recursos e absorver do lixo resultante do processo econômico. Acerca da questão, o que o trabalho de Rees revela é a incompatibilidade fundamental entre o crescimento econômico material contínuo de hoje e o alicerce ecológico que o planeta oferece. Fica claro que se deve questionar qual a capacidade de suporte humano que permite levar a um desenvolvimento sustentável, ou seja, um desenvolvimento durável, sem retrocessos, sobretudo os de natureza drástica.

Cabe aqui uma referência a Nicholas Georgescu-Roegen, com sua crítica ecológica da ciência econômica dominante, elaborada de forma precisa em seu livro de 1971, *The Entropy Law and the Economic Process*. Na visão de Georgescu, pensar em produção e consumo requer que se explique que o processo que deles dá conta começa retirando recursos ricos de potencial produtivo de

uma fonte, e finda devolvendo lixo a uma fossa. Em outras palavras, extrai matéria e energia de baixa entropia para transformá-las e as restitui com alta entropia ao ambiente que o abriga. Nesse sentido, trata-se de um fluxo unidirecional que começa com recursos e termina com lixo – o “fluxo entrópico”, da sua classificação; ou o “*throughput*”, de Kenneth Boulding, outro nome fundador da economia ecológica.

Nessa perspectiva, simplesmente, o crescimento econômico tem que respeitar os limites da natureza. Que são os limites do possível. Ou, em outras palavras, a pegada ecológica não pode exceder a biocapacidade do planeta. Exatamente, o que acontece desde os anos 1970, levando a que a sobrecarga humana sobre o ecossistema da Terra (o *overshoot*, como Rees o chama) seja de 70 por cento. Ou seja, cada ano, consumimos não o que o ecossistema (uma Terra) pode fornecer no limite, mas o planeta inteiro com 70 por cento dele a mais. Rota segura para o colapso ambiental global. Que era, basicamente, a tese do Clube de Roma em seu relatório de 1972, *Limits to Growth*.

É assim que, para Georgescu, não faz sentido a concepção econômica convencional de que o sistema econômico, além de isolado, é um sistema autocontido e a-histórico. A ciência da economia, de fato, não oferece nenhum sinal de reconhecimento do papel dos recursos naturais no processo econômico, enfatiza Georgescu, que conclui que, se a economia considerasse a natureza entrópica do processo econômico, poderia ter sido capaz de alertar seus colegas de trabalho no avanço da humanidade – as ciências tecnológicas – que “maiores e melhores” máquinas de lavar, automóveis e superjatos levam necessariamente a “maior e melhor” poluição.

Para se ter progresso genuíno, prosperidade efetiva, promoção da arte da vida, um bom viver, impõe-se

que o desenvolvimento respeite os limites da natureza, o que o Clube de Roma advogava com seu *Limits to Growth*. Um caminho possível seria adotar valores como aqueles expostos pela encíclica papal *Laudato Si'*, de 2015, e como aqueles adotados na filosofia da felicidade, introduzida no Reino do Butão a partir de 1972 e praticada com sucesso até hoje: felicidade, sim; crescimento econômico, apenas sob condições restritivas. Ou seja, tem-se que fazer um uso adequado da Natureza para a promoção do bem-estar humano. Reduzir a pegada ecológica é essencial, dado seu *overshoot* (os cálculos são da Global Footprint Network – GFN, criada a partir dos estudos de William Rees por seu aluno de doutorado, o suíço Mathis Wackernagel, que a preside). Isso não está no documento do IPCC, mas é o que cientistas independentes e respeitados têm constatado em seus estudos. Sobre o assunto, o *site* ScientistsWarning.org, em cooperação com a *The Alliance of World Scientists (AWS)*, tem informação da maior relevância, com denúncias que já foram feitas ainda em 1992. Sugere-se que o consumo seja contido, sobretudo nos grupos sociais que já consomem além da conta.

Nosso mundo mudou para um quadro cada vez mais assustador de insustentabilidade. O colapso da ponte de Gênova, na Itália, em agosto de 2018, indica o que seja uma situação de insustentabilidade. Algo pode acontecer repentinamente em sistemas socioecológicos complexos, totalmente além de nossa imaginação. O compromisso desejável do mundo é com pontes que sejam sustentáveis, com saúde sustentável para todos, com bem-estar humano sustentável, ampla equidade e o uso prudente de sistemas de suporte de vida (como os recursos do ecossistema global). Em contrapartida, nossa situação hoje é como a de se ficar alimentando de combustível um trem desgovernado, correndo à beira de um precipício. Isso vai acabar mal um dia, pois um processo desse feitio é

claramente insustentável. Daí que se deva pensar em um novo projeto civilizatório, desenhado tendo compromisso com o valor supremo da vida, com igualdade, justiça, eficiência e sustentabilidade. E sendo comandado pelo amor social, conforme ensina o Papa Francisco na sua encíclica *Fratelli Tutti*, de 2020. Abandonar o consumismo se insere aí, como parte do conceito de ecologia integral, da encíclica *Laudato Si'*, de 2015.

[1] Economista ecológico, Presidente de Honra da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica (EcoEco); Ex-Presidente da *International Society for Ecological Economics (ISEE)*

[2]Climatóloga e Meteorologista, Professora colaboradora da UFPE/Departamento de Bioquímica Coordenadora do Laboratório de Mudanças Climáticas Pesquisadora do IPA

## O DEBATE SOBRE DESEMPENHO SOCIOECONÔMICO, COMPLEXIDADE ECONÔMICA E PERFORMANCE AMBIENTAL

Marcelo Silva Simões [1]  
Daniel Caixeta Andrade [2]

### INTRODUÇÃO

Em 2022 completam-se 50 anos de publicação de um dos mais famosos relatórios científicos. *Limits to Growth* (MEADOWS *et al.*, 1972), originalmente publicado em 1972, em meio à Conferência de Estocolmo, foi revolucionário porque efetivamente ensejou a discussão sobre a (im)possibilidade de crescimento econômico contínuo diante da crescente degradação ambiental dos *Golden Years*. Foi ao mesmo tempo polêmico porque seus resultados não foram universalmente aceitos, o que gerou uma polarização no debate ambiental e que de certa forma condicionou a emergência de ramos científicos dedicados à discussão da relação entre sistema econômico e meio ambiente. O surgimento da Economia Ecológica, no fim da década de 1980, certamente está ligada aos ecos provocados pelo Relatório Meadows.

O colapso final previsto no relatório ainda não ocorreu, mas a literatura científica apresenta um conjunto crescente de evidências de que se aproxima o momento em que não será mais possível a existência da sociedade organizada que se conhece hoje (MARQUES, 2015). Dada a relevância de *Limits to Growth* para a evolução do ambiental desde a sua publicação, é cabível a seguinte pergunta, que motivou este pequeno ensaio: *é possível apontar para alguma inovação existente no debate entre crescimento econômico e preservação ambiental ao longo dos últimos 50 anos?* A hipótese

é que há inovações interessantes, como é o caso da introdução da complexidade econômica como variável explicativa importante para a performance ambiental dos países vis-à-vis o seu desempenho econômico. Entretanto, é preciso cautela para que estas novas linhas de pesquisa que tratam da relação originalmente estudada por *Limits to Growth* não resvalém para uma simples reiteração de argumentos pró-crescimento econômico.

Não há dúvida de que as interfaces entre o estilo de desenvolvimento (*desempenho socioeconômico*) e o meio ambiente (*performance ambiental*) passam por considerações sobre a estrutura produtiva de cada país. Países que apresentam em sua pauta de exportações uma participação mais elevada de bens de maior complexidade produtiva apresentam, também, maiores taxas de crescimento econômico de longo prazo e melhor crescimento e distribuição da renda per capita (THIRLWALL, 1979; HAUSMANN *et al.*, 2014; HARTMANN *et al.*, 2017). Ademais, estudos mostram que países que apresentam maior complexidade econômica “verde”, ou seja, vantagens comparativas reveladas nas exportações de produtos relacionados às energias renováveis e mais amigáveis ao meio ambiente também apresentam melhor performance ambiental (MEALY; TEYTELBOYM, 2018; BOLETI *et al.*, 2021).

A performance ambiental diz respeito à forma como o estilo de desenvolvimento econômico de um país

se relaciona com sua institucionalidade ambiental e geração de impactos ambientais. Este conceito remete à relação entre o transumo e a geração de renda de um país e como ela é distribuída, sendo consideradas informações quanto à degradação ambiental gerada a partir das atividades antrópicas bem como os esforços de promoção da qualidade dos ecossistemas.

Neste *short paper*, o objetivo é discutir brevemente acerca dos aspectos teóricos da relação entre complexidade econômica e performance ambiental [3]. Além desta introdução, o texto compreende duas sessões e as notas conclusivas. Em linhas gerais, pretende-se expor este debate de fronteira de desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental, que precisa ir além da noção de *decoupling*, no sentido da reestruturação do sistema econômico para menor intensidade energética, noção de “suficiência” ao invés de “maximização” e uma “estratégia de complexificação verde” para os países em desenvolvimento realizarem o *catch up* tecnológico e padrões satisfatórios de qualidade de vida.

#### COMPLEXIDADE ECONÔMICA E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

Genericamente, fala-se da mudança da estrutura produtiva como um processo evolutivo, partindo-se de uma economia baseada em bens primários (*commodities* agrícolas e minerais, por exemplo) para uma de maior participação do valor agregado de bens industrializados de maior teor tecnológico. O processo de acumulação de conhecimento, com ganhos de escala e *spill-over* tecnológico pelos outros setores da economia, num contínuo aumento da produtividade dos fatores de produção, propicia o desenvolvimento econômico dos países, com

crescimento econômico sustentado no longo prazo e de melhor distribuição da renda (MEALY, TEYTELBOYM, 2018). Chu (2020) afirma que o grau de complexidade econômica propicia uma visão holística da escala, estrutura e mudanças tecnológicas de um país.

Conforme Hidalgo e Hausmann (2009), o uso da complexidade econômica contribui empiricamente com a literatura do desenvolvimento econômico em três pontos, quais sejam: (i) diferentes países se deparam com diferentes oportunidades para aumentar o crescimento econômico, dadas suas diferentes estruturas produtivas e capacidades a elas associadas; (ii) a mudança estrutural é altamente *path dependent*; e (iii) alcançar a competitividade na produção de bens sofisticados leva tempo, visto que este processo requer o aprendizado de novas capacidades e bens menos sofisticados não estão associados com muitas outras atividades.

Recentemente, muitos trabalhos [4] têm avaliado as relações entre a complexidade econômica, o desenvolvimento econômico e a degradação ambiental, em especial do ponto de vista dos fluxos de saída do sistema, com destaque para as emissões de gases de efeito estufa (emissões de CO<sub>2</sub> sendo o mais estudado). Os trabalhos indicam, consensualmente, que a mudança da estrutura produtiva, com o aumento da complexidade econômica, muda também a estrutura energética e material dos países, o que acaba por determinar o padrão de poluição e geração de resíduos. Esta discussão tem se tornado cada vez mais destacada com a busca dos países em alcançar as metas voluntariamente estipuladas no Acordo de Paris, além de objetivos regionais, como os estabelecidos no âmbito da União Europeia em seu plano de “descarbonização”.

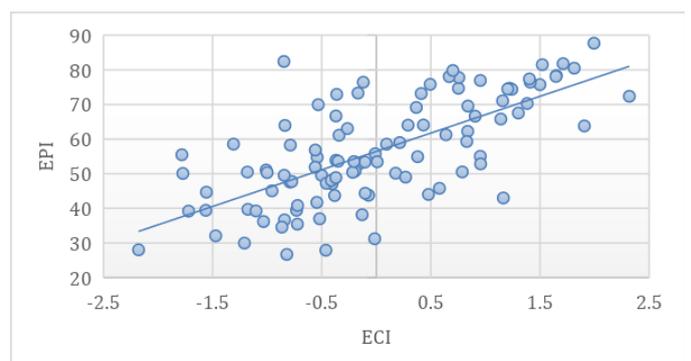
Esta literatura evidencia empiricamente a existência de uma trajetória de evolução da complexidade econômica e da degradação ambiental na forma de um U-invertido, assim como na hipótese da Curva de Kuznets Ambiental. Num primeiro estágio de desenvolvimento, os países, ao migrarem de estruturas produtivas pouco densas e baseadas em bens primários no sentido de internalização da produção de bens industrializados de consumo não duráveis (por exemplo, indústria têxtil e alimentícia) e posteriormente setores “mais pesados” e de consumo durável (por exemplo, indústria siderúrgica, química, metal-mecânica, automobilística, de eletrônicos, etc.), aumentam consideravelmente seus fluxos de entrada de matéria e energia de baixa entropia, gerando maior degradação ambiental na forma de poluição atmosférica pelos gases de efeito estufa e de resíduos líquidos e sólidos (que contaminam os lençóis freáticos e cursos d’água, além de causarem conflitos quanto à sua disposição).

O aumento da complexidade econômica alcançaria um ponto de mudança em que os efeitos trazidos pela evolução na estrutura produtiva da economia de aumento do valor agregado e de produtividade dos fatores de produção se alastram pela economia, com aumento da eficácia e eficiência no uso das matérias-primas e das fontes de energia, no sentido da diminuição da intensidade carbônica e material da produção. A acumulação de conhecimento, juntamente ao crescimento do capital humano de elevada qualificação, de pesquisa e desenvolvimento em inovações tecnológicas aumentam a eficiência do processo produtivo, ao mesmo tempo que são transbordados para a geração de tecnologias verdes e aprimoramento e fortalecimento da legislação ambiental. A partir deste “ponto crítico”, os ganhos tecnológicos ultrapassam os danos ambientais, e o

aumento da complexidade econômica passa a trazer, consigo, diminuição da emissão de poluentes por unidade produzida.

Boleti *et al.* (2021) debatem a respeito do quanto e em que sentido a complexidade econômica de um país explica sua *performance* ambiental. Os autores utilizam o *Economic Complexity Index (ECI)* como variável explicativa tanto para o *Environmental Performance Index (EPI)* quanto para variáveis de estresse ambiental ( $CO_2$  *per capita*, concentração de material particulado no ar – ambas como variáveis de qualidade do ar – e consumo de energia *per capita*). Como resultados, encontraram claro efeito preditivo do *ECI* para todas as variáveis, de modo que existe correlação positiva com o *EPI* e negativa com a poluição ambiental. O Gráfico 1 mostra que os pontos dispersos demonstram, quando linearizados, uma linha de tendência positiva entre as variáveis.

**Gráfico 1:** Dispersão entre (*ECI*) e (*EPI*) em 2014 - 115 países



Fonte: elaboração própria.

A sofisticação do tecido produtivo e a análise do conteúdo exportado pelas nações é variável premente na análise dos impactos ambientais do crescimento econômico e do desempenho ambiental, de modo que estruturas produtivas que estão mais desenvolvidas – no sentido de maior complexidade

das indústrias, com exportações de produtos que se encontram mais ao centro do “espaço de produto” – apresentam, também, melhor desempenho nos indicadores de qualidade ambiental (BOLETI *et al.*, 2021).

Boleti *et al.* (2021) partem da *noção de desenvolvimento econômico em que a mudança tecnológica assume papel central, junto ao path dependence e à cumulatividade de conhecimento*. Assim como Hartmann *et al.* (2017), os autores destacam que o ECI também apresenta relação positiva com melhor igualdade de renda e de economias mais inclusivas, sendo a industrialização importante *player* no crescimento de uma classe média por meio da criação de novos trabalhos e oportunidades de treinamento e educação para os trabalhadores. Por outro lado, este é um processo que degrada o ambiente, visto que é intensivo no uso de energia (predominantemente proveniente de combustíveis fósseis), de matéria-prima suprimida do meio ambiente, indutora do processo de urbanização, e que gera muitos resíduos sólidos e poluentes aéreos. Boleti *et al.* (2021) concluem o trabalho com a ideia de que estruturas produtivas mais sofisticadas que se situam no centro das redes de comércio internacional de produtos tendem a apresentar performance ambiental significativamente melhor que países na periferia da rede exportando produtos simples.

Analisando os trabalhos que tentaram, no plano empírico, estabelecer as relações entre complexidade econômica e performance ambiental, nota-se que a *noção de decoupling* ainda não foi suficientemente explorada como uma importante chave para se compreender os motivos pelos quais países de alta complexidade logram um bom nível de performance ambiental. Para além disso, não há uma apropriada

diferenciação entre as duas dimensões relevantes do fenômeno de *decoupling* (impacto e recursos), discussão que será apresentada na sessão seguinte.

#### DECOUPLING, COMPLEXIDADE ECONÔMICA E PERFORMANCE AMBIENTAL

De forma simplificada, UNEP (2011) conceitua o *decoupling* como sendo a redução – absoluta ou relativa – do montante de recursos naturais utilizados para gerar crescimento econômico e a desconexão do desenvolvimento econômico da degradação ambiental. Por meio da utilização de inovações tecnológicas, institucionais e organizacionais, combinado ao processo de acelerada urbanização, encontra-se um ambiente de oportunidade histórica para colocar a ideia do *decoupling* em prática, de modo que o crescimento econômico não comprometa a sustentabilidade socioeconômica e ambiental no longo prazo. Para acontecer, o *decoupling* requer mudanças significativas nas políticas governamentais, no comportamento das companhias e de padrões de consumo pelo público; mudanças estas que precisam ser *induzidas* por políticas estratégicas para que o mercado responda positivamente neste sentido.

Tecnicamente, realizar o *decoupling* significa diminuir a intensidade no uso de recursos por unidade de produto econômico e a redução do impacto ambiental de qualquer recurso que é utilizado ou atividades econômicas que são empreendidas. O *decoupling* de recursos (ou “de entrada”) ocorre quando há aumento da produtividade no uso destes recursos, ou seja, o produto da atividade econômica (PIB) aumenta de forma mais acelerada em relação ao consumo de matéria e energia de baixa entropia, que alimenta

todo o sistema econômico. Assim, há a diminuição do uso de matérias-primas (por exemplo, minérios metálicos), energia (por exemplo, petróleo e carvão mineral), água e de área de terra agriculturável para o mesmo montante de produto econômico (por exemplo, diminuição da relação kg de minério de ferro/US\$ de valor agregado) (UNEP, 2011).

Por sua vez, o *decoupling* de impacto ambiental (ou “de saída”) acontece com o aumento da ecoeficiência, ou seja, há diminuição da geração de poluição e resíduos, por exemplo, ao tempo que o produto econômico aumenta. Estes impactos ambientais surgem desde a fase de extração dos recursos naturais, na produção e uso das mercadorias, e na fase pós-consumo (geração de resíduos). Um exemplo claro de *decoupling* de impacto é o fenômeno da descarbonização das economias, ou seja, a redução da emissão de gases de efeito estufa por unidade de PIB.

Estes dois aspectos do *decoupling* podem, por sua vez, acontecer de maneira absoluta ou relativa. O *decoupling* absoluto – para o qual não há sinais de ocorrência escala global – ocorre quando o uso de recursos ou a geração de impacto diminui, independentemente da taxa de crescimento da produção econômica. Para acontecer, é necessário que a taxa de crescimento da produtividade do recurso/impacto exceda a taxa de crescimento do PIB dessa economia. Por sua vez, o *decoupling* relativo – mais comum – se dá quando a taxa de crescimento do parâmetro ambiental relevante é menor do que a taxa de crescimento do parâmetro econômico, ou seja, a relação é positiva, mas a elasticidade é menor que um (UNEP, 2011).

É interessante observar que os países considerados mais complexos são também aqueles que mais sucesso tiveram em reduzir sua intensidade

carbônica conforme atesta o *Low Carbon Economic Index* (PwC, 2019) e dados do *Global Carbon Atlas*. Conforme Andrade *et al.* (2021), simultaneamente, os vinte países de menor *ECI* avançam pouco – ou mesmo retrocedem – em termos da redução da intensidade carbônica (a média de redução na intensidade carbônica entre os anos de 2000 e 2018 nos países mais complexos foi de 40%, enquanto houve uma elevação média de 11% e maior volatilidade neste indicador para estes últimos países). Parece haver, portanto, uma lógica clara: maior complexidade econômica aumenta a capacidade de um país em realizar o *decoupling de impacto*, muito embora não se possa afirmar isto do ponto de vista do *decoupling de recursos*, pois países de maior complexidade continuam a ter uma pegada ecológica elevada.

Esta mesma lógica parece prevalecer quando se observa os dados a respeito da pegada material por unidade de PIB, ou seja, a intensidade material, que é um indicador de *decoupling* de recursos. Há, no entanto, uma diferença significativa. Para os países mais complexos, mesmo que haja, na média, uma redução neste indicador, sugerindo maior eficiência no uso dos recursos, a diminuição foi significativamente menor quando comparado ao *decoupling* de impacto: uma redução média de apenas 5,3% primeiro caso contra 40% de queda para o segundo caso (SIMÕES *et al.*, 2021). Os países menos complexos apresentaram o mesmo padrão de comportamento em ambas situações: na média, estes países não apresentaram melhoras nem no *decoupling* de recursos nem no de impacto.

No caso dos países mais complexos, é interessante notar que todos apresentaram redução na intensidade carbônica entre 2000 e 2018. A adoção maciça de políticas de carbono para substituir fontes de energia

fóssil por fontes renováveis pode explicar isto, principalmente na Europa, um continente comprometido com uma redução de 55% das emissões até 2030 e neutralidade climática até 2050. Em geral, a intensidade carbônica de uma economia pode ser reduzida por duas vias: (i) por meio da mudança dos processos produtivos atuais no sentido de serem mais eficientes, em especial, no consumo de energia; (ii) mudar a composição setorial da economia, levando a estrutura no sentido da produção de bens que apresentem, na média, um nível mais baixo de emissão de poluentes; e (iii) pela substituição de fontes de energia fósseis por fontes de energia renováveis (principalmente solar e eólica. Em todos os casos, estas mudanças não ocorrem espontaneamente, e políticas industriais e de inovação precisam estar ajustadas com as metas ambientais estabelecidas. Os resultados de Andrade *et al.* (2021) parecem sugerir que, dado o nível de complexidade econômica, a velocidade de ocorrência do *decoupling* de impacto é maior que o *decoupling* de recursos.

Em exercício empírico para testar as conclusões preliminares de Andrade *et al.* (2021), Simões (2021) dividiu uma base de dados de 115 países entre menos e mais complexos, com dados anuais para o período de 1995-2015. Os resultados evidenciaram que o impacto das variáveis *ECI*, corrente de comércio e fluxo de entrada de Investimento Estrangeiro Direto impactam de forma diferente as duas subamostras, enquanto que as variáveis liberdade econômica [5] e percentual de recursos renováveis na matriz energética têm, de forma unânime, correlação negativa com as variáveis de degradação ambiental. De modo geral, os resultados demonstraram que a evolução da complexidade econômica, maior abertura comercial e de atração de investimento estrangeiro direto não

são, sozinhas, soluções definitivas para conduzirem ao menos ao *decoupling* relativo de recursos e de impacto, em especial para a subamostra de países menos complexos. Como resultados, tem-se que o *decoupling* de recursos e de impacto ocorrem em ritmos diferentes para as duas amostras, sendo que a tendência é de maior velocidade de *decoupling* de impacto em relação ao de recursos para os países mais complexos, enquanto há até mesmo evidências de intensificação das variáveis de impacto ambiental para os menos complexos, enquanto há tendência lenta de *decoupling* de recursos.

#### NOTAS CONCLUSIVAS

O aumento da complexidade econômica, por si só, não é uma solução para resolver o problema da intensidade do uso de materiais e geração de impactos pela emissão de poluentes, visto que pode intensificar – ao invés de reduzir – a degradação ambiental nos países que se encontram em estágios iniciais do desenvolvimento econômico. Muito embora não seja panaceia para os problemas ambientais dos países, os trabalhos revisados mostram que a complexidade econômica é uma variável importante para explicar a melhora da performance ambiental dos países. Em outras palavras, os resultados empíricos oferecidos pela literatura especializada indicam que há uma relação positiva entre complexidade econômica e performance ambiental.

É preciso admitir, porém, que elevar a complexidade econômica das estruturas produtivas não é um processo espontâneo. É fundamental se pensar em estratégias de política pública que induzam um aumento da complexidade econômica por meio da incorporação de setores econômicos e tecnologias que gerem um “atalho” para o desenvolvimento sem que seja necessário passar pela “trilha” de

degradação ambiental percorrida pelos países hoje considerados de elevado grau de desenvolvimento. Por “atalho” não se quer dizer que para os países em desenvolvimento o caminho a ser trilhado está posto e que será mais fácil a eles alcançarem o *status* de “desenvolvidos”. “Atalho” aqui significa uma mudança de rumo significativa no sentido de que tais países não devem perseguir a mesma estratégia de desenvolvimento em termos de degradação ambiental.

Com os estudos sobre complexidade econômica incorpora-se a ideia de que não é qualquer crescimento econômico nem qualquer mudança estrutural que é capaz de promover melhor performance ambiental. É necessário que o crescimento econômico seja seletivo do ponto de vista setorial, que busque complexificar a estrutura produtiva dentro de um novo arcabouço de respeito aos limites ecossistêmicos (ou “fronteiras planetárias”). Isto porque há limites termodinâmicos ao crescimento da eficiência ecológica, o que pressupõe que junto às políticas de incentivo ao *decoupling* são necessários outros esforços normativos no sentido de alterar o significado e objetivo último de desenvolvimento econômico.

A crescente utilização da variável de complexidade econômica nos estudos sobre a relação entre crescimento e meio ambiente – foco de *Limits to Growth* – representa uma inovação importante para o debate. Pode representar, por exemplo, uma oportunidade de aproximação entre a economia ecológica e outras correntes do pensamento econômico que enfatizam o papel das estruturas (produtivas) no desempenho econômico dos países. Contudo, reforça-se o que já foi dito: os resultados

trazidos neste *short paper* indicam que a complexificação das estruturas produtivas não é *deus ex machina*. Isto significa que a perspectiva da complexidade econômica não pode ser usada como justificativa para reiteração de argumentos presentes na Curva de Kuznets Ambiental, cuja crítica oriunda da economia ecológica já é bem conhecida.

[1] Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD/MG).

E-mail: [marcelo.simoese@meioambiente.mg.gov.br](mailto:marcelo.simoese@meioambiente.mg.gov.br)

[2] Instituto de Economia e Relações Internacionais (Universidade Federal de Uberlândia)

E-mail: [daniel.andrade@ufu.br](mailto:daniel.andrade@ufu.br)

[3] Esta discussão que pode ser analisada de forma aprofundada em Simões e Andrade (2021), Andrade *et al.* (2021) e Simões (2021).

[4] Consultar Simões (2021) para uma ampla revisão da literatura especializada sobre a relação entre complexidade econômica e performance ambiental.

[5] O Índice de Liberdade Econômica é mensurado pelo *The Heritage Foundation* e espera-se que seja relevante na explicação da intensidade da degradação ambiental, no sentido que a evolução das instituições para promoção de maior liberdade econômica aos agentes provoca uma evolução estrutural, com entrada de tecnologias mais eficientes, maior concorrência, legislação ambiental aperfeiçoada, de modo que o sistema econômico alcançaria maior *decoupling* em todos os aspectos da degradação ambiental [Ben Zineb (2016), Chu (2020)]. Um Estado moderno, inovador, deve prover um ambiente de elevada competitividade para prosperidade dos agentes econômicos, mas também promover por meio de políticas públicas o adensamento de cadeias produtivas de elevado valor agregado em setores estratégicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, Daniel C., ROMEIRO, A., SIMÕES, M. S. Economic development, economic complexity and environmental performance: in search of common ground. *In: Environmental Sustainability and Industries: Technologies for Waste Treatment*. (no prelo) 2021.
- BEN ZINEB, Sélma. International Trade and CO2 Emissions: A Dynamic Panel Data Analysis by the STIRPAT Model. **Journal of Economics and Sustainable Development**, v. 7, n. 12, p. 94-104, 2016. ISSN 2222-1700.
- BOLETI, Eirini *et al.* Economic complexity and environmental performance: Evidence from a world sample. **Environmental Modeling & Assessment**, v. 26, p. 251–270, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10666-021-09750-0>.
- CHU, Lan K. Economic structure and environmental Kuznets curve hypothesis: new evidence from economic complexity. **Applied Economics Letters**, p. 1-5, 2020. <https://doi.org/10.1080/13504851.2020.1767280>.
- HARTMANN, Dominik *et al.* Linking economic complexity, institutions, and income inequality. **World Development**, v. 93, p. 75-93. 2017. DOI: 10.1016/j.worlddev.2016.12.020
- HAUSMANN, Ricardo *et al.* **The atlas of economic complexity: Mapping paths to prosperity**. Mit Press, 2014. <https://doi.org/10.4324/9780203722084>.
- HIDALGO, César A.; HAUSMANN, Ricardo. The building blocks of economic complexity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 26, p. 10570-10575, 2009. DOI: 10.1073/pnas.0900943106.
- MARQUES, Luiz C. **Capitalismo e colapso ambiental**. Editora Unicamp, 2016. <https://doi.org/10.7476/9788526815032>
- MEADOWS, D.H. *et al.* **Limits to growth**. Nova York: Universe Books, 1972. <https://doi.org/10.2307/2060819>.
- MEALY, Penny, TEYTELBOYM, Alexander. Economic complexity and the green economy. **Research Policy**, p. 103948, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103948>.
- SIMÕES, Marcelo S. **Ensaio sobre desempenho socioeconômico, complexidade econômica e performance ambiental**. 236 f. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2021.436>.
- SIMÕES, Marcelo S; ANDRADE, Daniel C. Desempenho econômico e performance ambiental: fatos estilizados e abordagem empírica. *In: Anais dos Encontros da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica*. Anais...Itabuna(BA) Online, 2021. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/ecoeco2021/395420-DESEMPENHO-ECONOMICO-E-PERFORMANCE-AMBIENTAL--FATOS-ESTILIZADOS-E-ABORDAGEM-EMPIRICA>. Acesso em: 10 de Janeiro de 2022.
- THIRLWALL, A.P The Balance of Payments Constraint as an Explanation of International Growth Rate Differences, **Banca Nazionale del Lavoro Quarterly Review**, v. 32, n. 128, p. 45–53, 1979. DOI: <https://doi.org/10.13133/2037-3643/12804>.



UNEP. Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth. **Relatório**. United Nations Environment Programme, Nairobi, 2011. ISBN: 978-92-807-3167-5.

## A LEI DA ENTROPIA E OS LIMITES AO CRESCIMENTO. A SOCIEDADE DE CONSUMO SUSTENTÁVEL

Ademar Ribeiro Romeiro[1]

As publicações dos trabalhos *A Lei da Entropia e o Processo Econômico* em 1971, por Nicholas Georgescu-Roegen e *Os limites ao crescimento* em 1972, pelo Clube de Roma, coordenado por Donella Meadows do MIT (Meadows *et al.*, 1972), representaram marcos importantes. O primeiro, foi um esforço inédito de crítica aos pressupostos teóricos fundamentais da economia neoclássica a partir da segunda lei da termodinâmica, a Lei da Entropia, estando na origem da disciplina **economia ecológica**. O segundo foi um esforço, também inédito, de simular os efeitos ambientais da trajetória de crescimento do período pós-guerra o qual, por sua vez, está na origem do conceito de **desenvolvimento sustentável**.

A natureza da preocupação com a problemática ambiental havia mudado na década anterior, tendo como marco desta mudança o livro da Rachel Carson, *Primavera Silenciosa* em 1962. O preservacionismo ambiental, representando o ambientalismo até aquele momento, tinha como premissa implícita que as atividades produtivas humanas causavam inevitavelmente a destruição da natureza, sendo então necessária a preservação de um mínimo de natureza intocada tanto para fins recreacionais como científicos. O trabalho de Carson deixara claro, no entanto, que a preocupação ambiental não poderia ficar restrita à preservação de algumas áreas naturais sob a forma parques ecológicos, e sim incluir as próprias atividades produtivas. Caso contrário, de nada adiantaria preservar pedaços intocados da natureza. No caso das atividades produtivas agrícolas, ela mostrou

como o uso indiscriminado do pesticida DDT estava afetando a capacidade reprodutiva dos pássaros, de modo que em algum dia a primavera seria silenciosa porque não se ouviria mais seus cantos.

Nessa década também ficaram claros problemas ambientais globais como as chuvas ácidas. Em 1968, em Founieu (Suíça), houve um encontro para tratar desse problema, que afetava em particular os países Escandinavos produtores florestais. Suas florestas estavam morrendo devido às chuvas ácidas decorrentes da poluição causada pela queima de carvão pelas termelétricas na Alemanha e em outros países da Europa Central. As correntes de ventos carregaram essa poluição, lançada por chaminés de até 100 metros de altura, para a Escandinávia. O primeiro caso documentado de externalidade ambiental negativa internacional. O convite do governo sueco para a realização da primeira conferência internacional sobre meio ambiente Estocolmo tem aí sua origem.

### OS FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA ECONOMIA ECOLÓGICA

A publicação da *Lei da Entropia e o Processo Econômico* representou um desafio teórico certamente à altura de alguém como Nicholas Georgescu-Roegen, que chegara a ser cogitado para o prêmio Nobel pelo seu trabalho sobre teoria do consumidor. Porém, ele não teve condições de levar adiante esse projeto. Com certeza a falta de condições psicológicas foi um fator importante,

causada pelo ostracismo a que foi relegado por seus colegas economistas, tendo encerrado sua carreira, amargurado, na Universidade de Vanderbilt [2]. Tampouco apareceu outro economista com essa disposição. Com efeito, o desafio implicava a demolição completa do edifício teórico neoclássico onde os mecanismos de equilíbrio funcionavam sem gerar nenhuma mudança irreversível. Ao levar em conta a lei da entropia, até a matemática usada teria que mudar; em vez de cálculo diferencial, cadeias de Markov, entre outras mudanças.

Georgescu-Roegen continuou por um tempo ainda refletindo sobre as implicações da consideração da lei da entropia, mas não mais para todo o edifício teórico neoclássico e sim limitadas às premissas da economia ambiental neoclássica. Uma preocupação dele era com as reservas de combustíveis fósseis, as quais deveriam ser poupadas para a produção de fertilizantes nitrogenados. A produção de fertilizantes nitrogenados a partir do petróleo, sobretudo, estava na base da revolução na produção agrícola, abrindo caminho para a solução da fome no mundo, não havendo substitutos. Por isso, a única chance de sobrevivência da humanidade em um prazo mais longo seria parar de usar combustíveis fósseis como fonte de energia, reservando-os para a produção de fertilizantes. A alternativa sustentável para energia seria a solar. Porém, o mundo teria que se ajustar a esta fonte de energia reduzindo a intensidade das atividades econômicas, uma vez que a disponibilidade total de energia solar por período é fixa e em menor quantidade em relação à energia obtida com a queima de combustíveis fósseis (ver Georgescu-Roegen, 1976).

A continuidade do seu legado por Herman Daly se deu também, fundamentalmente, a partir das implicações da consideração da lei da entropia sobre as premissas da economia ambiental neoclássica. Em seu livro de 1996 (*Beyond Growth*), reunindo e

atualizando também trabalhos anteriores, Daly lança os fundamentos do que viria ser a Economia Ecológica por oposição à Economia Ambiental que pressupunha limites e perdas irreversíveis superáveis. A economia ambiental tinha tido seu fundamento básico definido por Robert Solow em artigo de 1974 onde, ecoando o livro do Georgescu-Roegen, ele reconheceu as implicações da lei da entropia em termos de limites ao aumento da eficiência energética e ecológica através de inovações tecnológicas. Porém, o crescimento econômico poderia continuar por tempo indefinido na medida em que as inevitáveis perdas irreversíveis de capital natural poderiam ser substituídas por capital. A tradicional função de produção passa então a ser representada por  $Y = f(k, l, r)$ , onde  $r$  são os recursos naturais (capital natural), os quais poderiam ser inteiramente substituídos por capital ( $k$ ) ou trabalho ( $l$ ). Georgescu-Roegen criticou essa nova versão da função de produção neoclássica (batizada por ele de variante Solow-Stiglitz) chamando-a de “passe de mágica”.

Daly (1997), por sua vez, ironiza essa modificação da função de produção Cobb-Dougllass com a imagem da “cozinheira neoclássica”, onde no processo de fabricação de bolos os ingredientes naturais (farinha, ovos, leite, açúcar) poderiam ser substituídos por capital (batedeiras, fornos, e outros utensílios) e por trabalho (mais cozinheiras), de modo que a quantidade de bolos produzidos poderia permanecer constante apesar da redução da quantidade de ingredientes. Em 1997, ao aceitar o debate proposto pelos editores da revista *Ecological Economics*, Solow (1997) se defende argumentando que a substituíbilidade entre recursos naturais e capital se referia fundamentalmente à substituição de recursos naturais não renováveis por recursos renováveis, cuja produção requer o uso intensivo de capital. A substituição de recursos naturais por

capital propriamente dita ocorreria também, mas seria relativamente limitada no tempo. Stiglitz (1997, p. 269), por sua vez, argumenta que a crítica de Daly se devia à sua incompreensão do tipo de modelo analítico formulado por ele e Solow. Esse modelo teria sido construído tendo em conta, na prática, um horizonte de tempo intermediário (50/60 anos), período no qual efetivamente poderia ocorrer a substituição entre capital e recursos naturais. Daly (1997, p. 271) responde lembrando que para Georgescu-Roegen essa não era a questão relevante, mas sim o fato do modelo proposto representar muito mal o processo de produção.

Além disso, esse não foi o entendimento da maioria dos economistas ambientais neoclássicos, para os quais a substituíbilidade de capital natural por capital não é algo datado, sendo a premissa do conceito de **sustentabilidade fraca**. Uma economia é considerada “não sustentável” se a poupança total fica abaixo da depreciação combinada dos ativos produzidos e não-produzidos, os últimos usualmente restritos a recursos naturais (ATKINSON *et al.*, 1997). A ideia subjacente é aquela do investimento compensar as gerações futuras pelas perdas de ativos naturais causadas pelo consumo e produção correntes (formalmente apresentada pela “regra de Hartwick”). Para a economia ecológica a premissa do conceito de **sustentabilidade forte** adotada é, ao contrário, o da não substituíbilidade de serviços ecossistêmicos vitais por capital (ver Romeiro, 2009).

Enfim, o importante é ter em conta aqui o diferencial fundamental da economia ecológica em relação à economia ambiental (neoclássica): (1) a ideia de limites que se ultrapassados ocasionariam perdas ecossistêmicas insubstituíveis, potencialmente catastróficas; (2) a incerteza radical quanto à definição desses limites em função do fenômeno de resiliência ecossistêmica, requerendo a aplicação do

Princípio da Precaução [3]. A resiliência é uma propriedade dos ecossistemas de se adaptar aos impactos sem perder suas características básicas. Desse modo, os efeitos dos impactos não são lineares, tornando a previsão incerta. O Princípio da Precaução foi definido para tratar de incertezas como esta, determinando que, por precaução, se iniciem o quanto antes as medidas visando mudar uma trajetória de impactos levando a uma catástrofe ecológica. Por esta razão, o crescimento econômico medido pelo aumento da produção material/energética per capita irá parar forçosamente, sendo preciso parar dentro da capacidade de suporte do planeta terra. Um estado estacionário ou estável, onde a produção de resíduos pela humanidade possa ser reciclada pelos ecossistemas sem maiores perturbações. Do ponto de vista teórico essas premissas são as definidoras da economia ecológica como uma disciplina de economia aplicada ao meio ambiente fundamentalmente distinta da economia ambiental neoclássica.

As implicações destas distintas premissas teóricas das economias ambiental e ecológica são distintas também, obviamente, em relação às propostas de políticas ambientais. No caso da economia ambiental, implica poder tratar os impactos ambientais como externalidades a serem internalizadas através da precificação dos serviços ambientais de modo a refletir suas escassezes relativas. Desse modo, ajustes marginais através do mercado vão ocorrendo com a crescente escassez desses serviços causada pela sua destruição. Para a economia ecológica, o risco de perdas irreversíveis potencialmente catastróficas exige considerar-se a escala sustentável. Ou seja, não se pode esperar a elevação dos preços do meio ambiente devido à sua destruição. É preciso evitar isso definindo cientificamente uma escala sustentável, para depois,

então, pensar nas políticas que evitem sua ultrapassagem. Por sua vez, a definição de limites de uso do meio ambiente implica resolver questões de justiça distributiva. Ou seja, definir critérios justos de acesso a recursos que passam a ser limitados. Somente então seria possível, e desejável, usar os mecanismos de mercado para alocar de modo eficiente os investimentos destinados a poupar meio ambiente.

## O CONCEITO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A publicação do relatório “limites ao crescimento” teve um enorme impacto por duas razões: primeiro, por falar em parar, *zerar*, o crescimento econômico em um período de grande prosperidade mundial graças ao forte crescimento econômico na maioria dos países; segundo, pela sua grande credibilidade científica: estudo realizado por uma equipe do MIT utilizando dinâmica de sistemas inventada por Jay Forrester (também do MIT) pouco tempo antes, para desenvolver uma modelagem inédita usando computador. A premissa de partida era a mesma da economia ecológica vinte anos mais tarde, qual seja, os recursos naturais são finitos, bem como seu uso gera poluição, que pode ser reduzida, mas não eliminada. Logo, a generalização do crescimento econômico e da industrialização em algum momento levaria ao esgotamento dos recursos e ao aumento da poluição acima do suportável. O trabalho consistia, então, em simular cenários de esgotamento dos recursos naturais, com destaque para o petróleo, e de poluição. Em algum momento, portanto, o crescimento econômico, medido pelo aumento da produção material-energética, teria que parar, por bem ou por mal. O que a humanidade poderia e deveria almejar era manter constante um nível mínimo de produção material-energética, capaz de assegurar condições materiais de vida decentes a

*Boletim Ecoeco, n. 41, 2022*

todos pelo máximo de tempo possível. Crescimento econômico *zero*, medido pelo aumento do consumo material/energético per capita e população constante.

O relatório foi publicado no mesmo ano, 1972, da primeira Conferência Mundial sobre Meio Ambiente em Estocolmo organizada pela ONU. Nessa conferência houve um grande debate entre *zeristas* e desenvolvimentistas, que levou ao surgimento do conceito de *ecodesenvolvimento*[4], que passaria a chamar-se *desenvolvimento sustentável* a partir do Relatório Brundtland em 1987. Esse conceito emerge como uma proposição conciliadora, onde se reconhece que o progresso técnico efetivamente relativiza os limites ambientais, mas não os elimina e que o crescimento econômico é condição necessária, mas não suficiente para a eliminação da pobreza e disparidades sociais. É um conceito normativo, determinando três condições para um desenvolvimento econômico adequado (sustentável): crescimento econômico, distribuição de seus frutos e prudência ecológica. A ideia de limites ao crescimento econômico não era negada, mas sim condicionada à eliminação da pobreza, à elevação da qualidade de vida material de toda a humanidade a um nível considerado decente. Nesse sentido, quanto melhor distribuídos os frutos do crescimento econômico mais rapidamente esse objetivo seria atingido.

Por sua vez, a prudência ecológica seria suficiente para viabilizar esse processo de crescimento econômico sem causar maiores problemas. Por prudência ecológica se entendia basicamente a aplicação de princípios básicos de uma gestão eficiente do meio ambiente[5]: adotar sempre as tecnologias ecologicamente mais eficientes, redutoras da demanda por insumos e do nível de resíduos nos processos produtivos; capazes de aumentar a “circularidade da economia”, ou seja, reciclando o máximo possível os resíduos da

produção e do consumo. Por outro lado, do ponto de vista do consumo, estimular a passagem de uma “economia do ter para uma economia do ser” (SACHS, 1993). Por economia do ser se entendia uma economia não consumista, onde o consumo é um meio para prover o conforto material possível e não um meio de emulação social, a qual leva a uma disputa sem fim para mostrar capacidade de consumo.

A ideia de uma “economia do ser” em contraposição a uma “economia do ter” foi reforçada pelo trabalho de Richard Easterlin [6] nos EUA. Analisando os resultados de um conjunto de pesquisas sobre consumo e sensação de satisfação, ele chamou a atenção para o fato do crescimento da renda não ter sido acompanhado de um aumento da felicidade das pessoas tal como elas percebiam isto (o “paradoxo de Easterlin”). Havia uma correlação positiva, em um mesmo ano, entre nível de renda e grau de felicidade declarada, ou seja, quanto maior a renda maior a sensação de felicidade. Algo não surpreendente, na medida em que sair da pobreza e ampliar a capacidade de acesso a bens e serviços é sempre um motivo de alívio e satisfação. Entretanto, em séries temporais essa correlação desaparecia. A proporção de pessoas se declarando felizes permanece constante a partir de certo nível de renda. Um consumidor no ano 2000 não é mais feliz do que seu avô em 1950, embora tenha uma renda muito superior a qual, além do mais, lhe permite comprar produtos antes inexistentes; produtos estes capazes de proporcionar benefícios muito maiores seja em termos de conforto físico (carros com ar-condicionado), seja em termos de novas facilidades e conveniências (celulares).

Esse fato resulta primeiramente de fatores psicoculturais, os quais explicam o próprio consumismo como uma forma de emulação social. A satisfação de uma pessoa com o aumento de sua

capacidade de consumo é relativa à capacidade de consumo dos seus pares dentro do grupo social. Desse modo, se essa capacidade aumenta para todos com o crescimento econômico, desaparece o efeito de consumir mais. A imagem usada por Easterlin para caracterizar a situação é a da esteira da academia, onde é preciso andar para se ficar parado. A partir de certo ponto, o aumento do consumo conforme aumenta a renda é essencial não para aumentar a satisfação, mas sim para evitar sua queda, ficando no mesmo lugar. O fato de consumir mais que seus pais ou avós não tem a menor relevância. A teoria psicológica contemporânea[7] mostra também que tanto animais como seres humanos encontram prazer na ação ou experiência nova, e não na rotina. Para os humanos a aquisição de um novo bem pode produzir também essa sensação. Porém, essa sensação desaparece com o uso rotineiro do bem adquirido. Nesse sentido, independentemente da emulação dos pares, o nível de satisfação não depende somente do nível de renda do consumidor, mas também do seu crescimento contínuo. Ou seja, para ser mais feliz é preciso um crescimento cada vez mais rápido da renda ou crescer na mesma velocidade, mas perpetuamente, apenas para manter o nível de felicidade.

É preciso considerar também que o aumento geral do nível de renda eleva os preços do espaço e do tempo, de modo que a família média com a renda se elevando não poderá nunca consumir muito mais de espaço-tempo em relação ao consumido antes. Provavelmente consumirá menos. A pessoa média, não importa quão rica ela se torne, não poderá nunca comandar mais serviços de outra pessoa média. Finalmente, cabe notar que o aumento do preço do tempo (serviços) em relação ao dos bens direciona as pessoas para mais consumo de objetos variados os quais, além de não as satisfazerem por muito tempo, diminuem a disponibilidade tempo para as

atividades verdadeiramente estimulantes e realizadoras, de relacionamentos pessoais e sociais, desenvolvimento intelectual, artístico, cultural etc. A consciência de que a sociedade consumista além de degradar o meio ambiente não traz felicidade vem aumentando, dando origem à ideia de FIB (Felicidade Interna Bruta) por oposição ao PIB (Produto Interno Bruto).

Por outro lado, vem aumentando bastante também o entendimento dos riscos ambientais pairando sobre a humanidade. Já por ocasião da segunda Conferência Mundial sobre Meio Ambiente, vinte anos depois da primeira, a Rio 1992, esse novo entendimento aparece claro na segunda edição revista do relatório ‘limites ao crescimento’ publicado no mesmo ano (MEADOWS *et al.*, 1992). A principal mudança foi o deslocamento do foco principal do esgotamento de matérias primas para o esgotamento (destruição) de ecossistemas [8]. Havia ficado claro que antes do esgotamento do meio ambiente como fonte de matérias primas ocorreria um esgotamento do meio ambiente como fonte de serviços ecossistêmicos. A quantidade de materiais existentes na crosta terrestre, incluindo o petróleo, é tão gigantesca que antes do seu esgotamento pelo aumento sem limites do consumo, os serviços ecossistêmicos vitais para a sobrevivência humana na terra, insubstituíveis por capital, teriam sido esgotados pela destruição causada pela poluição. Acrescente-se a isso, o avanço notável dos estudos sobre os limites ambientais planetários[9].

#### OS DESAFIOS DA URGÊNCIA AMBIENTAL E DA SOCIEDADE DE CONSUMO SUSTENTÁVEL

O agravamento dos problemas ambientais globais, com destaque para o problema do aquecimento global, tem levado ecodesenvolvimentistas (ou desenvolvimentistas sustentáveis) a convergirem em

direção à posição dos economistas ecológicos sobre a necessidade de se pensar estratégias de longo prazo para *zerar* o crescimento econômico medido pelo aumento da produção material/energética per capita. Estratégias estas distintas, evidentemente, para países desenvolvidos e países em desenvolvimento. Para os primeiros trata-se de pensar políticas capazes de promover uma progressiva redução da taxa de crescimento da produção material/energética per capita até *zerá-la*, tendo em conta o nível de emprego e as questões distributivas. Para os segundos, o foco é tornar o, ainda necessário, crescimento econômico menos impactante do meio ambiente. Para estes últimos, as estratégias são aquelas propostas desde a primeira conferência internacional sobre o meio ambiente pelos ecodesenvolvimentistas e envolvem tanto as técnicas de produção como os padrões de consumo. No caso das primeiras, trata-se de viabilizar a adoção de técnicas ecoeficientes mais avançadas, onde sem dúvida os países desenvolvidos deveriam colaborar através da transferência de tecnologias. No caso dos segundos, o esforço de evitar a mimetização de padrões de consumo perdulários, centrados em bens posicionais, e estimular novas formas de consumo mais sustentáveis, onde em muitos casos tradições culturais locais específicas poderiam colaborar de modo significativo.

De qualquer modo, graças à globalização, na maioria dos países certos hábitos de consumo nocivos ao meio ambiente já estão estabelecidos, cujo abandono implica um custo psicológico no sentido de sair de uma “zona de conforto”. Por exemplo, as comodidades de certas embalagens descartáveis difíceis de reciclar, da sacolinha de plástico no supermercado etc. A maior parte da poluição de plásticos nos oceanos provêm dos países emergentes na Ásia. Somente com o aumento da consciência ecológica será possível reduzir a barreira

representada pelos inevitáveis custos de transição para uma sociedade de consumo sustentável. Um processo árduo, porém, não linear, de absorção de informações sobre as consequências não imediatamente percebidas da degradação ambiental e de ‘realização’ daquilo que foi mostrado por Easterlin: o consumismo, além de destruir o meio ambiente, não traz felicidade!

Porém, existem barreiras propriamente econômicas, de custo financeiro, que não são passíveis de serem superadas apenas com o aumento da consciência ecológica. Este é caso do principal problema ambiental global, de emissões de gases de efeito estufa, as quais precisam com urgência serem reduzidas de modo significativo em um prazo bastante curto. A maior parte da população ou não pode ou não aceita pagar mais pela energia. Considere-se os casos da China e da Índia, que dependem pesadamente do carvão barato para a produção de energia elétrica. Esses países já deixaram claro que não há hipótese de penalizar as respectivas populações com a elevação dos preços de energia pela substituição do carvão por uma fonte sustentável mais cara. Nem tampouco as populações dos países ricos aceitam pagar mais pela energia. Do lado da oferta, como fazer os países produtores, a maioria dependente quase que exclusivamente da exportação de combustíveis fósseis por empresas estatais, contribuírem para a mudança da matriz energética? Se não houver alternativas realmente competitivas os acordos mundiais permanecerão letra quase morta. Um fundo internacional para pesquisa e difusão (subsídio) de energia nuclear em reatores mais seguros deveria ser seriamente considerado.

Entretanto, a evolução em direção a um amplo consenso científico sobre a urgência do desafio ambiental foi acompanhada, nos meios acadêmicos sobretudo, do aumento da controvérsia sobre se a

solução desse desafio poderia ser alcançada dentro do capitalismo. Para muitos a questão da exploração da natureza tornou-se mais importante do que aquela da exploração do trabalho como fator de mobilização anticapitalista, sendo que os movimentos ambientalistas se tornaram em grande medida dominados por ativistas com esta perspectiva. Como resultado, houve uma reação e um empoderamento de grupos negacionistas ambientais pró-negócios. Uma polarização ideológica que dificulta o consenso em torno do necessário e possível a fazer. Para uma boa parte dos ativistas ambientais o enfrentamento efetivo do desafio ambiental implica a substituição do sistema capitalista democrático por um sistema eco-socialista ideal[11].

A premissa dos críticos anticapitalistas seria a “natureza” inerentemente expansionista do capitalismo. Sem dúvida o capitalismo moderno levou a uma expansão gigantesca das “forças produtivas”. Caso contrário, não teria sido possível uma sociedade de consumo, definida como aquela onde as pessoas têm escolhas de consumo acima do nível de subsistência, algo inédito: pela primeira vez na história abriu-se a possibilidade de eliminação não apenas da penúria material, da miséria (a pobreza absoluta atinge hoje cerca de 10% da humanidade, contra históricos mais de 90%), como de um aumento imenso na expectativa vida em todos os países, mesmo os mais pobres. Isso se deveu à característica fundamental do capitalismo, que o diferencia de todos os seus antecessores, de ser um sistema permanentemente aberto à introdução de inovações de todos os tipos, onde há liberdade de empreender. Por sua vez, não surpreende que a liberdade de empreender tenha sido usada para expandir a capacidade produtiva em um mundo de penúria material, de miséria.

No entanto, na medida em que a estrutura de incentivos começa a mudar devido ao aumento da consciência ecológica diante da escassez crescente de meio ambiente, o que impediria um redirecionamento do empreendedorismo capitalista para enfrentar não mais a escassez de bens materiais, mas a escassez de meio ambiente? É evidente que essa mudança de rota não é simples, considerando as inércias a serem vencidas. Porém, não é contra a “natureza” do capitalismo. No entanto, para que as inércias decorrentes dos interesses e costumes estabelecidos possam ser superadas no prazo necessário para evitar catástrofes ambientais, é preciso criar a estrutura de incentivos adequada, em especial políticas macroeconômicas ecológicas, a qual dependerá, em última instância, da evolução da consciência ecológica.

O consumismo faz parte destas inércias. Ele resulta da ampliação das possibilidades de consumo que estendeu, ‘democratizou’, para a maioria da população o processo de emulação social através do consumo, mesmo que seja em uma microescala. É preciso ter claro que a emulação social através da demonstração da capacidade de consumo, é algo imemorial. Apenas que, antes do surgimento do sistema capitalista moderno, ela era reservada a uns poucos, uma pequena elite. Portanto, em uma sociedade de consumo sustentável os mecanismos de emulação social continuarão a existir, porém, graças à consciência ecológica, deverão ser outros.

[1] Instituto de Economia da Unicamp

[2] O prêmio-Nobel Paul Samuelson saudou a publicação do livro do Georgescu-Roegen em uma das edições do seu famoso manual de economia, que foi o livro-texto de referência mundial durante um longo período. No entanto, nas edições seguintes a referência ao Georgescu foi retirada. Um manto de silêncio foi baixado pelos economistas sobre uma obra altamente perturbadora do *main-stream* econômico.

[3] Ver Romeiro, A.R. (2012).

[4] Expressão sugerida por Maurice Strong, secretário geral da conferência, mas que teve em Ignacy Sachs, professor da EHESS/Paris, seu principal articulador e difusor.

[5] Ver Sachs, I. (1981, 1986, 2002, 2006, 2007).

[6] O trabalho de Easterlin (1974) gerou uma polêmica de décadas, que no final parece ter confirmado sua análise.

[7] Ver Abramovitz (1989).

[8] Ver Andrade, D.C. e Romeiro, A.R. (2011)

[9] Ver Rockstrom, J. et al. (2009a, 2009b).

[11] Ver Marques, L. (2018) e Romeiro, A.R. (2019).

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOVITZ, Moses. **Thinking about growth**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

ANDRADE, Daniel. C.; ROMEIRO, Ademar. R. Degradação ambiental e teoria econômica: algumas reflexões sobre uma “Economia dos Ecossistemas”. **Economia, Anpec**, v.12, n.1, jan/abr, 2011.

ATKINSON, Gilles *et al.* **Measuring Sustainable Development: Macroeconomics and the Environment**. Edward Elgar, 1997.

- CARSON, Rachel. **Silent Spring**. Boston: Houghton Mifflin, 1962.
- DALY, Herman. **Beyond growth**. The economics of sustainable development. Boston: Beacon Press, 1996.
- DALY, Herman. Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz”. **Ecological Economics**. Special Issue: The contribution of N. Georgescu-Roegen. ISEE, v. 22, n. 3, 1997.
- EASTERLIN, Richard. Does Economic Growth Improve the Human Lot? Some Empirical Evidence”. In: DAVID, Paul; REDER, Melvin (eds.), **Nations and Households in Economic Growth: Essays in Honor of Moses Abramovitz**, New York: Academic Press, Inc, 1974.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The Entropy Law and the Economic Process**. Harvard University Press, 1971.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. Process in Farming versus Process in Manufacturing: a Problem of Balance Development”. In: Energy and Economic Myths. Pergamon Press, 1976.
- MARQUES, Luiz.(2018). Capitalismo e Colapso Ambiental. Campinas: Editora da Unicamp.
- MEADOWS, Donella. *et al.* **The limits to growth**. New York: Universe Books, 1972.
- MEADOWS, Donella *et al.* **Beyond limits: confronting global collapse, envisioning a sustainable future**. S. l.: Chelsea Green Publishing Company, 1992.
- ROCKSTRÖM, Johan *et al.* A safe operating space for humanity. **Nature**, n. 461, 2009a.
- ROCKSTRÖM, Johan *et al.* Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. **Ecology and Society**, v. 14, 2009b.
- ROMEIRO, Ademar R. . Economia ou economia política da sustentabilidade. In: MAY, Peter (Org.) **Economia do meio ambiente**. Rio de Janeiro: Campos-Elsevier, 2009.
- ROMEIRO, Ademar R. Desenvolvimento Sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74), p. 65-92, 2012.
- ROMEIRO, Ademar R. Evitar o colapso ambiental requer o fim do capitalismo? **Economia e Sociedade (UNICAMP)**, v. 28, p. 285-289, 2019.
- SACHS, Ignacy. **Crescer sem destruir**. São Paulo: Editora Vértice, 1981.
- SACHS, Ignacy. **Espaços, tempos e estratégias do desenvolvimento**. São Paulo: Editora Vértice, 1986.
- SACHS, Ignacy. **Estratégias de Transição para o Século XX**. São Paulo: Studio Nobel/Fundap, 1993.
- SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.
- SACHS, Ignacy. **Desenvolvimento incluyente, sustentável e sustentado**. Rio de Janeiro: Garamond, 2006.
- SACHS, Ignacy. **Rumo à ecosocioeconomia – Teoria e prática do desenvolvimento**. São Paulo: Cortez Editora, 2007.
- SOLOW, Robert. The economics of resources or the resources of economics. **American Economic Review**, v. 64, n. 2, 1974.
- SOLOW, Robert M. Reply. Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. **Ecological Economics**. Special Issue: The contribution of N. Georgescu-Roegen. ISEE, v. 22, n. 3, 1997.



STIGLITZ, Joseph E. Reply. Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. **Ecological Economics**. Special Issue: The contribution of N. Georgescu-Roegen. ISEE, v. 22, n. 3, Sept. 1997.

## CONFLITOS ECOLÓGICOS E LFFU[1]

Joan Martínez-Alier[2]

A tradução foi realizada por Mariana Assis (Eppen-Unifesp) e Beatriz Saes (Eppen-Unifesp).

O conceito de “economia circular” sugere que os recursos materiais poderiam ser crescentemente obtidos de dentro da economia, reduzindo o impacto ambiental ao aumentar a reutilização e reciclagem de materiais. O objetivo seria minimizar o desperdício e avançar para uma economia de ciclo fechado. No entanto, este “imaginário” sociotécnico não tem relação com a realidade, conforme revelado pela análise metabólica, biofísica. A economia industrial não é circular, é entrópica (HAAS *et al.*, 2015; GIAMPIETRO; FUNTOWICZ, 2020); portanto, produz resíduos poluentes e requer novos suprimentos de energia e materiais extraídos das “fronteiras das *commodities*” (MOORE, 2000; JOSEPH, 2019; HANÁCEK *et al.*, 2021). Portanto, emergem conflitos ambientais. Os movimentos de resistência nascidos de tais conflitos podem ajudar a mover a economia para uma direção menos insustentável (SCHEIDEL *et al.*, 2018).

Numa época em que, apesar das evidências em contrário, há entusiasmo sobre as possibilidades de uma economia circular industrial, relembramos os dois sentidos em que autores escrevem sobre a “economia circular”, um termo que vem da microeconomia introdutória e, mais recentemente, também da engenharia química e ecologia industrial. A microeconomia introdutória é frequentemente ensinada nos termos que Georgescu-Roegen (1975) chamou de “carrossel” entre consumidores e produtores, um esquema circular no qual os produtores colocam bens e serviços no mercado a preços que os consumidores pagam; enquanto isso, os consumidores (como fornecedores de trabalho, *Boletim Ecoeco*, n. 41, 2022

terra ou outros insumos ou “fatores de produção”) recebem dinheiro dos produtores na forma de salários, aluguéis, etc. e compram, como consumidores, os produtos ou serviços que foram produzidos.

O “carrossel” precisa de energia para funcionar (energia que é dissipada) e produz resíduos materiais que não são reciclados. Por exemplo, carvão e petróleo não são realmente produzidos (ao contrário do que é tratado nos livros de economia), eles são meramente extraídos e sua energia é dissipada pela queima. Isso é deixado de lado na economia ortodoxa introdutória, ou é introduzido muito mais tarde, na análise da “alocação intergeracional de recursos esgotáveis” e no tratamento de externalidades que são “internalizadas no sistema de preços”.

Como críticos ecológicos da economia ortodoxa desde os anos 1970 e 1980, pensamos que estávamos convencendo o público, se não os economistas profissionais, de que a representação do “carrossel” da economia estava errada. A economia está inserida em realidades físicas. Porém, a novidade é que, a partir da ecologia industrial e não apenas da economia, também se prega uma visão circular da economia.

Os círculos bioquímicos de carbono e de outros elementos, o grande ciclo da água impulsionado pela energia solar, e os combustíveis fósseis e materiais geologicamente produzidos que entram na economia são aqui levados em consideração, e os resíduos

estão muito presentes, mas presume-se que a mudança técnica pode fechar o círculo econômico. Os resíduos tornam-se insumos. A energia (dissipada, é claro, por causa da Segunda Lei da Termodinâmica) não é um problema porque virá da energia solar atual (não dos combustíveis fósseis, que são estoques de fotossíntese do passado). Supõe-se que a cadeia de oferta circular possa governar fisicamente a economia. Sabemos, no entanto, que o grau real de circularidade da economia industrial é muito baixo, e provavelmente está diminuindo à medida que economias baseadas na biomassa completam uma transição para uma economia industrial de combustíveis fósseis na Índia e na África (ROY, SCHAFFARTZIK, 2021).

Há uma enorme “lacuna de circularidade” entre a entrada de material “fresco” e a entrada de material reciclado na economia. Em nível mundial, o primeiro é de cerca de 92 gigatoneladas (Gt) por ano e o segundo, cerca de 8 Gt. Se menos de 10 por cento dos materiais (incluindo os transportadores de energia) são reciclados, de onde vêm os outros 90 por cento? A resposta é: das novas fronteiras de extração de commodities e também, em certa medida, de fontes tradicionais. Portanto, o alumínio pode vir em parte da reciclagem, da bauxita de antigas minas usadas mais intensamente, ou muito provavelmente, de novas minas de bauxita. O EJAtlas registrou 50 casos de conflitos em bauxita/alumínio, alguns deles de Odisha, na Índia, onde os conflitos de Kashipur e Niyamgiri Hill se tornaram bem conhecidos.

Há uma nova iniciativa coletiva e uma nova revista científica para o estudo histórico de “fronteiras de commodities”(https://commodityfrontiers.com/journal/). Esse conceito (ver MOORE, 2010) está se tornando cada vez mais relevante. A economia

industrial caminha a todo o tempo até as fronteiras da extração em busca de materiais e também viaja até as fronteiras da destinação de resíduos. Os resíduos são depositados em qualquer lugar (resíduos sólidos, líquidos ou gases de efeito estufa). Ambas as fronteiras da extração de commodities e de destinação de resíduos são frequentemente habitadas por humanos e, certamente, por outras espécies.

Os dois processos de crescimento e mudanças no sócio-metabolismo estão associados ao alargamento e ao aprofundamento das fronteiras de extração de commodities (BANOUB *et al.*, 2020). O primeiro implica na extensão espacial da apropriação da natureza, via reivindicações territoriais para o controle e uso dos recursos naturais e atos associados de desapropriação. O segundo implica na intensificação da exploração em locais existentes, por meio de inovação sociotécnica e novos investimentos no mesmo local (aprofundamento de commodities) como, por exemplo, a mineração de metais ou carvão por técnicas a céu aberto substituindo a anterior extração de minérios, gás ou petróleo subterrâneos, ou pesca ou plantações intensivas em energia.

O EJAtlas (www.ejAtlas.org) é basicamente um arquivo de Conflitos de Distribuição Ecológica (CDEs) que ocorreram ou estão ocorrendo em tempo real nas fronteiras de extração de *commodities* e de eliminação de resíduos (TEMPER *et al.*, 2015; 2018; 2020; SCHEIDEL *et al.*, 2020; MARTINEZ-ALIER, 2021). É um banco de dados de conflitos de justiça ambiental disponibilizado para pesquisa, ensino, networking e advocacia, alojado no ICTA da *Universitat Autònoma de Barcelona*. Desde 2012, acadêmicos e ativistas colaboram com os registros, chegando a 3.600 em

janeiro de 2022. O número de conflitos registrados no Brasil até agora é de 174, o que deve ser visto como uma amostra de um número muito maior desconhecido de conflitos.

O EJAAtlas é um produto do contra-movimento de base global pela justiça ambiental, e ao mesmo tempo uma ferramenta para pesquisar sua história recente e reforçar sua presença em todas regiões e culturas do mundo (GUHA, MARTINEZ-ALIER, 1997). A economia industrial estava ainda crescendo até 2020. Há uma expansão transnacional das fronteiras do agronegócio, também conhecida como “grilagem de terras” na busca de novas formas de biomassa como, por exemplo, pastagens, soja, cana-de-açúcar, óleo de palma, madeira e celulose. A resistência em tais lugares é, frequentemente, expressa como uma defesa dos bens comuns (DELL’ANGELO, 2021).

Há também uma busca por combustíveis fósseis. Mesmo uma economia estagnada causaria conflitos. Por exemplo, se a economia mundial está extraindo e eventualmente queimando 100 milhões de barris de petróleo hoje, amanhã fará o mesmo ou um pouco mais ou menos nas fronteiras de commodities de petróleo. Se o “pico do petróleo” for alcançado (como acontece em determinados locais e pode acontecer em breve a nível mundial), uma parte do petróleo é substituída por gás natural ou carvão. É por isso que existem tantos CDEs (na extração, transporte e destinação de resíduos - inclusive aqueles causados pelo excesso de CO<sub>2</sub>), e daí também tantos movimentos de resistência. A substituição de combustíveis fósseis por hidrelétricas ou combustíveis de biomassa, ou moinhos eólicos e painéis solares também causa conflitos devido à necessidade de terras e minerais (TEMPER *et al.*, 2020).

Às vezes, as tentativas de “valorizar” os resíduos também causam novos tipos de conflitos - como, por exemplo, o desmantelamento de navios antigos em Alang (Índia), Chittagong (Bangladesh), Gadani (Paquistão) ou a queima de resíduos industriais ou domésticos em incineradores urbanos ou em fornos de cimento, ou esquemas controversos de Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD) para “capturar” dióxido de carbono (SCHINDLER, DEMARIA, 2020).

O termo Conflitos de Distribuição Ecológica (CDEs) foi cunhado e introduzido na economia ecológica por Martínez-Alier (2002) e Martínez-Alier e Martin O’Connor (1996) para descrever conflitos sociais nascidos do acesso injusto aos recursos naturais e os fardos injustos da poluição. Os benefícios e custos ambientais são distribuídos de forma a causar conflitos ao longo das cadeias produtivas, acompanhados por diferentes formas de violência contra defensores ambientais (NAVAS *et al.*, 2018; SCHEIDEL, *et al.*, 2020; TRAN *et al.*, 2020). Os termos conflito socioambiental, conflito ambiental ou CDE são intercambiáveis. O termo CDE enfatiza a ideia de que a distribuição desigual ou injusta de bens e danos ambientais nem sempre coincide com a “distribuição econômica”, como, por exemplo, os aluguéis pagos pelos arrendatários aos proprietários de terras ou os termos internacionais de comércio ou reivindicações por melhores salários pelos sindicatos de mineração que se opõem aos proprietários das mineradoras.

No EJAAtlas, como na vida real, encontramos muitos exemplos de lutas de valorização (TEMPER, MARTINEZ-ALIER, 2013). Os valores plurais exibidos pelos participantes em tais conflitos muitas vezes não podem ser reduzidos a uma única unidade (ao contrário das doutrinas de compensação

econômica para “externalidades” negativas). “Valores plurais” como base da economia ecológica se relacionam bem com a noção de “pobreza multidimensional”.

CDEs, então, é um termo para reivindicações e reclamações coletivas contra injustiças ambientais. Por exemplo, a mudança climática está causando um aumento possivelmente perceptível do nível do mar em algumas ilhas do Pacífico ou nas ilhas Kuna no Panamá, ou em Kivalina, ou Shishmaref no Alasca, ou causando o derretimento das geleiras nos Andes e Himalaia. No entanto, os afetados não são compensados. A distribuição ecológica injusta é inerente ao capitalismo, definido por Kapp (1950) como um sistema de transferência de custos.

Na economia ambiental neoclássica, os termos preferidos são “falha de mercado” e “externalidades”, uma terminologia que sugere que tais externalidades podem ser estimadas em termos monetários e internalizadas no sistema de preços. Se aceitarmos a comensuração econômica e rejeitarmos a incomensurabilidade de valores, então mecanismos de eco-compensação “equivalentes” poderiam ser introduzidos (MARTINEZ-ALIER *et al*, 1998). Em vez disso, defendemos a aceitação de diferentes linguagens de valoração para compreender tais conflitos e a necessidade de levá-los em consideração por meio de processos participativos genuínos que são difíceis de implementar devido às barreiras sociais e desigualdade de poder.

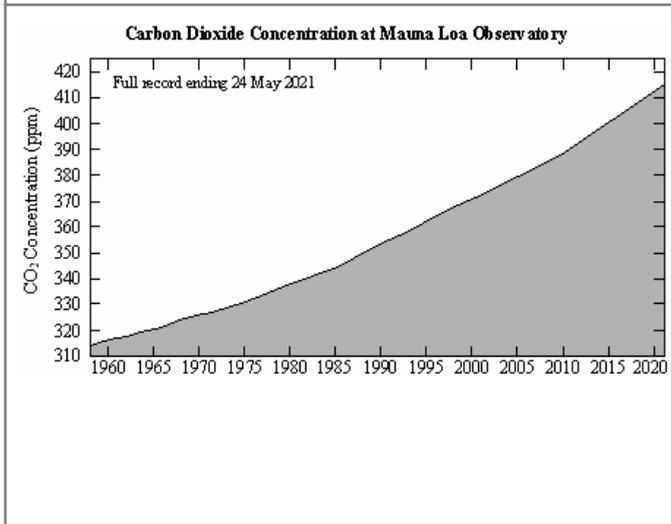
Se danificada, por exemplo, pela poluição industrial de chumbo, amianto ou por pó de carvão, as populações locais talvez afirmem primeiro que a saúde das crianças não tem preço, que a poluição deve parar imediatamente e os empresários culpados devem ser punidos com prisão. Mas depois de alguns anos, uma vez perdidas as batalhas sociais e

jurídicas, a população local, relativamente pobre e impotente, talvez peça humildemente e aceite uma compensação monetária. Isso também se aplica a pessoas deslocadas por barragens: eles podem argumentar em termos de sustento e valores ecológicos contra a barragem, podem reivindicar direitos indígenas sobre o rio e também declará-lo sagrado. Uma vez perdida a batalha, uma vez que alguns líderes tenham sido mortos, qual outra alternativa resta para eles senão aceitar algum dinheiro?

A ecologia política e a economia ecológica, no entanto, defendem a aceitação de diferentes linguagens de avaliação para entender tais conflitos. Quem tem o poder de rejeitar linguagens de valoração como sacralidade, sustento, direitos da natureza, direitos territoriais indígenas, valores arqueológicos e valores ecológicos ou estéticos em suas próprias unidades de conta? Quem dá à linguagem da economia e aos economistas ortodoxos o poder que eles têm? (MARTINEZ-ALIER, 2002).

Há uma necessidade de redução da extração e queima de combustíveis fósseis o mais rápido possível. A redução exigida é cerca de metade, se a curva de Keeling deve ser achatada. Até agora, a curva de Keeling (fig. 1) continua deslocando-se imperturbavelmente para 450 ppm antes do ano 2050, e para 500 ppm antes do final do século.

**FIGURA 1:** A Curva de Kelling até 24 de maio de 2021



Há um movimento mundial por justiça ambiental, um contra-movimento de baixo para cima contra a exploração de matérias-primas e o descarte de resíduos com base em instâncias locais de resistência (NEWELL, SIKOR, 2014; TEMPER, 2018). No restante do artigo, focalizarei a oposição local à extração, transporte e queima de combustíveis fósseis, à qual são acrescentados os argumentos das mudanças climáticas. LFFU é promovido por comunidades locais confrontadas por indústrias extrativas ou poluentes nacionais ou estrangeiras. Às vezes, é apoiado por organizações ambientais externas, grupos religiosos, cientistas e profissionais.

Enquanto isso, “transições energéticas justas” são frequentemente discutidas em termos de compensação a ser dada em troca de manter os combustíveis fósseis no solo para mineiros e outros trabalhadores das indústrias de combustíveis fósseis, ou para consumidores relativamente pobres, ou para países e empresas que irão sofrer perdas de tais

“ativos improdutivo”. Aqui, é adotada uma perspectiva diferente: há uma visão de política pública, de cima para baixo, da justiça climática, e uma visão de baixo para cima (MARTINEZ-ALIER, 2015).

O discurso de justiça climática foi apresentado pela primeira vez a partir do Sul Global em 1991, em Delhi, Índia, mesmo antes da conferência do Rio-1992. Anil Agarwal e Sunita Narain (1991) do *Centre for Science and Environment* (CSE) publicaram um poderoso panfleto sobre a injustiça climática, intitulado “*Global warming in an unequal world: a case of environmental colonialism*”. Eles calcularam as emissões per capita mostrando um fato óbvio: se as emissões de dióxido de carbono por países empobrecidos (na história e no presente) tivessem sido a norma universal, não haveria aumento do efeito estufa. Os oceanos e a nova fotossíntese absorveriam todas as emissões de dióxido de carbono causadas pelos humanos. A concentração crescente de dióxido de carbono na atmosfera é causada pelas emissões de “luxo” dos ricos, e não pelas emissões de “sobrevivência” dos pobres.

Não seria correto pedir aos pobres que diminuíssem suas emissões, o que eles só poderiam fazer abandonando as escassas refeições preparadas com lenha ou esterco, ou respirando mais devagar ou mesmo não respirando. O esforço de redução deve ser feito pelos ricos. Existem grandes diferenças no uso de energia entre as pessoas. Todos nós precisamos de um mínimo de energia como energia alimentar (o uso “endossomático” de energia, como disse Alfred Lotka, ou “energia vital”, como Frederick Soddy, Prêmio Nobel de Química, escreveu em seus livros sobre energia e economia na década de 1920) (MARTINEZ-ALIER,

SCHLÜPMANN, 1987). Todos nós precisamos também de alguma energia “exossomática”. Muitas pessoas no mundo devem e irão aumentar ainda mais o uso de energia.

As emissões excessivas de gases de efeito estufa (GEE) implicam na apropriação unilateral de sumidouros, sejam eles vegetação nova, os oceanos ou a atmosfera como depósito temporário. O ativismo de baixo para cima poderia assumir a forma de processos judiciais e demandas do Sul para o reembolso da dívida ecológica e/ou da dívida climática desde 1992 até hoje (incluindo pagamentos por “perdas e danos”, na linguagem oficial das Conferências das Partes-COPs). A pressão sobre os países ricos por causa de sua dívida climática poderia ter sido uma contribuição do Sul para a redução das emissões. O ativismo LFFU de baixo para cima por ações diretas também pode ser eficaz.

O livro de Naomi Klein, *This Changes Everything* (2014), foi um apelo poderoso para o reforço do movimento de base global. Klein aprendeu sobre a dívida climática em 2009, com a jovem embaixadora da Bolívia na ONU em Genebra, Angélica Navarro. Ela também cita Sunita Narain dizendo: “Sempre me dizem - especialmente por meus amigos na América - que... questões de responsabilidade histórica são algo sobre o qual não devemos falar”. O livro de Klein foi escrito com a metodologia da pesquisa-ação. Ela explica suas incursões até às barricadas e bloqueios contra o *fracking* de gás de xisto pela Chevron na Romênia, aos oleodutos no Canadá e aos pântanos da Louisiana para inspecionar os danos do derramamento da British Petroleum (BP).

Com base em relatórios do EJOLT e outras fontes (TEMPER et al, 2013), Klein reconstruiu a história da proposta de deixar petróleo no solo em Ogonil e

no Delta do Níger e na Amazônia do Equador, e a fundação da Oil Watch em 1995, que combinou a resistência local aos combustíveis fósseis com ênfase nos “combustíveis inqueimáveis” que devem ser deixados intocados para evitar o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera. A ideia de “mantê-lo no subsolo” (“deixar o petróleo no solo, deixar o carvão no buraco”, LFFU, deixar os combustíveis fósseis no subsolo), foi construída a partir de movimentos de resistência comunitária e pesquisa e advocacia não-governamental e não-acadêmica.

A violência extrema por parte dos militares em colaboração com a corporação Shell causou muitas vítimas no Delta do Níger, enquanto o desastre da Texaco-Chevron na região norte amazônica do Equador foi bem documentado. A partir de meados da década de 1990, a Oil Watch acrescentou explicitamente o argumento da mudança climática às razões para deixar petróleo no solo (BASSEY, 2009). No projeto EJOLT (2011-15), usamos as palavras *Yasunization* e *Ogonization* para reconhecer que as propostas de LFFU vieram da Nigéria e Equador (TEMPER et al, 2013).

O livro de Naomi Klein (2014) incluiu as viagens para a devastação das areias betuminosas de Alberta e a participação na resistência ao *Keystone XL* e outros oleodutos. Ela mostra os movimentos de resistência contra o *fracking* na França e em outros lugares (por causa das emissões de metano e dos danos locais à água e às paisagens), e também a resistência à remoção de carvão no topo das montanhas dos Apalaches. Ela adotou a palavra “*Blockadia*” para as instâncias de oposição popular à extração e ao transporte de combustíveis fósseis que aprendeu em suas viagens.

Como tantas vezes acontece, os termos do movimento pela justiça ambiental são introduzidos por ativistas, não por acadêmicos. “*Blockadia*” é uma palavra popular. Klein apelou a um movimento para colocar a mudança climática no centro da política, “aquilo que muda tudo”. Segundo ela, e eu concordo, a tarefa histórica e urgente de diminuir as emissões de gases de efeito estufa recai sobre os diversos movimentos de base que se formam redes a partir das lutas em campo contra empresas privadas ou públicas de combustíveis fósseis, contra minas de carvão, poços de petróleo, dutos e transportadores marítimos, refinarias e usinas termelétricas (TEMPER *et al.*, 2020; TEMPER, 2019).

Um ano depois que o livro de Naomi Klein foi publicado como um apelo por justiça climática, o acordo internacional de Paris de dezembro de 2015 excluiu explicitamente a noção de passivo. Literalmente, o acordo “não envolve ou fornece uma base para qualquer passivo ou compensação”. Caso contrário, os governos dos países ricos não assinariam qualquer acordo. Algumas vozes foram ouvidas a favor da aplicação do “passivo objetivo” como na legislação ambiental doméstica nos EUA (CERCLA) (BHAGWATI, 2010), mas foi argumentado que a insistência na dívida ecológica era contraproducente porque poderia levar ao fracasso na obtenção de qualquer acordo internacional (GODARD, 2012).

Em Paris, esta distorção de justiça (ou seja, deixar de lado a Dívida Ecológica) conquistou a aquiescência de todos os governos mundiais após Pablo Solón (embaixador da Bolívia nas COPs de mudança climática em Copenhague, 2009, e Cancún, 2010) e alguns representantes resistentes de outros governos serem forçados à submissão colonial. Em alguns

casos, funcionários de países do Sul foram supostamente subornados para consentir.

Nem todo mundo está convencido. Algumas vozes acadêmicas competentes continuam a calcular as “apropriações de sumidouros”, ou seja, o uso desproporcional da atmosfera, dos oceanos e da nova vegetação pelas pessoas ricas para despejar livremente as emissões excessivas de dióxido de carbono (WARLENIUS *et al.*, 2015). Warlenius (2015) argumenta fortemente a favor da atribuição de pagamentos em proporção à responsabilidade histórica. Afinal, a retórica ambiental internacional inclui o princípio do poluidor-pagador. No entanto, multas seriam mais apropriadas do que pagamentos (ou impostos) porque as multas sugerem que você não deve cometer a ação errada novamente. Existem também vozes não-acadêmicas apontando para a dívida ecológica de Norte a Sul, conforme declarado explicitamente no parágrafo 51 da Encíclica “*Laudato Si*” de 2015.

Existe uma verdadeira “dívida ecológica”, particularmente entre o Norte e o Sul Globais, ligada aos desequilíbrios comerciais com efeitos sobre o meio ambiente e ao uso desproporcional de recursos naturais por certos países durante longos períodos de tempo. A exportação de matérias-primas para satisfazer os mercados do Norte industrializado tem causado danos locais, como por exemplo a poluição por mercúrio na mineração do ouro ou a poluição por dióxido de enxofre na mineração do cobre. É urgente que se calcule a utilização do espaço ambiental em todo o mundo para a deposição de resíduos gasosos que se acumulam há dois séculos e criaram uma situação que hoje atinge todos os países do mundo. O aquecimento causado pelo grande consumo de alguns países ricos tem

repercussões nas áreas mais pobres do mundo (...)

A posição de baixo para cima da justiça climática é mais forte quando os argumentos locais para LFFU vêm junto com uma perspectiva global da necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Essa convergência entre as denúncias locais e as questões ambientais aconteceu na Índia no movimento jovem *Fridays for Future*, no qual houve um debate a respeito da possível união a outros movimentos de direitos humanos e reivindicações econômicas ou se limitar apenas às mudanças climáticas. O movimento dos agricultores em Punjab em 2020 decidiu a questão (com a colaboração da polícia indiana que prendeu Disha Ravi e outros ativistas do *Fridays for Future*, por apoiarem o movimento dos agricultores). O slogan “*fund farmers, defund coal*” (financiar fazendeiros, desfinanciar o carvão) foi erguido em papelão, um símbolo performativo desafiador (CHATTERJEE, 2021).

A oposição de base à extração de petróleo começou antes da conscientização geral sobre as mudanças climáticas. Em 1997, a rede Oil Watch propôs, em uma reunião paralela à COP em Kyoto, uma moratória sobre a exploração e extração de petróleo em locais social e ecologicamente sensíveis. Poucas coisas aconteceram durante dez anos nas políticas públicas do Equador até que alguns ministros do novo governo do presidente Correa, em 2007, tomaram a iniciativa (vinda de organizações da sociedade civil) de deixar no solo o petróleo dos campos Yasuni-ITT, nas profundezas da Amazônia (TEMPER, MARTINEZ-ALIER, 2007). Isso inspirou outros movimentos LFFU. Embora o governo estivesse dividido, a proposta esteve viva por seis anos, até que o presidente Correa (que nunca foi favorável a ela) a abandonou em agosto de

2013, recusando-se a se tornar um líder do Sul nas mudanças climáticas, como também Evo Morales da Bolívia se recusou a assumir essa liderança.

A liderança dos movimentos populares passou para outras mãos. Alguns pertencem aos movimentos de jovens pela Justiça Climática vindos do Norte representados por Greta Thunberg, falando para as próximas gerações. Enquanto isso, a oposição local à extração de combustíveis fósseis, aos quais se somam os argumentos das mudanças climáticas, continua a crescer com algum sucesso no Sul, mas também no Norte. Existem muitos exemplos de LFFU, também da Índia, incluindo muitos contra as usinas movidas a carvão, totalmente referenciados no EJAAtlas (TEMPER *et al*, 2013; 2020; ROY, 2021).

Cinquenta anos atrás, Georgescu-Roegen publicou *The Entropy Law and the Economic Process* (1971). Coincidiu com outros autores antes e depois dele ao insistir longamente no fato de que a economia industrial não é circular, mas entrópica (MARTINEZ-ALIER, 1987). Isso explica o crescimento dos conflitos nas fronteiras de extração, transporte e destinação de resíduos, pois a energia é dissipada e apenas alguns materiais são reciclados. Esta é a lição número um em um curso de economia ecológica e ecologia política.

Os caçadores-coletores e os agricultores de fato viviam da fotossíntese corrente. Antropólogos ecológicos calcularam o retorno de energia sustentável para os insumos energéticos humanos. A agricultura pré-industrial teve um EROI (*energy return on energy input*, retorno sobre o investimento energético) favorável em comparação com a agricultura industrial moderna (RAPPAPORT, 1968; LEE, 1979). Com a industrialização e os combustíveis fósseis, a economia mundial tornou-se

cada vez mais entrópica. Em nível mundial, de todos os materiais que entram na economia (combustíveis fósseis, materiais de construção, minérios metálicos, biomassa), em 2005, apenas cerca de 6% foram reciclados (HAAS, 2015). O baixo grau de circularidade tem duas razões principais. Em primeiro lugar, 44% dos materiais processados foram usados para fornecer energia e, portanto, não estão disponíveis para reciclagem. Em segundo lugar, os estoques socioeconômicos (construção, infraestrutura de transporte) estavam crescendo a uma taxa elevada, com adições líquidas de 17 Gt/ano. O crescimento de um “ambiente construído” requer materiais e energia; e, uma vez instalado, requer uma entrada persistente de materiais e energia para a sua manutenção e operação (HAAS *et al.*, 2020).

A economia está se tornando cada vez menos circular. A economia industrial dissipa energia dos combustíveis fósseis e descarta materiais; ela é entrópica e por isso vai para as fronteiras de extração de commodities e também para as fronteiras da destinação de resíduos causando danos e conflitos. A extração de combustíveis fósseis continua e até cresce, assim como as emissões excessivas de dióxido de carbono. O carvão, petróleo ou gás natural queimados hoje não estão mais disponíveis; e amanhã a indústria alcançará uma nova fronteira de extração. Pode ser o Alasca ou a península de Yamal no Ártico, pode ser Cabo Delgado em Moçambique ou Vaca Muerta na Argentina.

As energias solar e eólica somam-se a outras fontes (carvão, petróleo, gás, também hidrelétrica, biomassa e nuclear), ainda não as substituem. As novas fontes produzem seus próprios conflitos devido às necessidades de terras e minerais (AVILA, 2018; TEMPER *et al.*, 2020; LEVENDA *et al.*,

2021). Os experimentos de geoengenharia dão esperança aos “eco-modernistas”, mas podem causar novos conflitos (HAMILTON, 2013).

O metabolismo industrial baseado na extração de carvão, gás e petróleo, na escavação de areia e cascalho para a indústria do cimento, na mineração de minérios de ferro, cobre, bauxita, níquel, minérios de titânio (BISHT, 2021), nas extensas plantações de eucalipto, cana-de-açúcar, óleo de palma e nas CAFOs (*concentrated animal feeding operations* - operações concentradas de alimentação animal) continua a crescer. E causam CDEs concomitantemente ao crescimento e mudanças no metabolismo social atual (KRAUSMANN *et al.*, 2018).

Outros CDEs surgem por tentativas de diminuir a “lacuna de circularidade”, obtendo energia não dos combustíveis fósseis, mas de “biocombustíveis”, energia hidrelétrica, nuclear, moinhos de vento, energia fotovoltaica. Ou quando metais novos ou velhos são extraídos nas fronteiras de extração de commodities para a transição elétrica (lítio, cobalto, níquel, cobre), ou madeira balsa é saqueada da Amazônia do Equador, ou quando a reciclagem local de metais como o chumbo prejudica a saúde humana.

Existem também muitos CDEs decorrentes da materialidade da indústria de comunicações – não apenas a velha busca por polpa de celulose, mas a dependência das tecnologias de mídia da extração de minerais como o coltan e outros, do despejo de lixo eletrônico (que é reciclado apenas parcialmente), e do uso de grandes quantidades de eletricidade (PARIKKA, 2015).

Um movimento do Sul reivindicando uma dívida ecológica pelas mudanças climáticas, e apresentando

propostas para deixar os “combustíveis inqueimáveis” no solo nasceu na década de 1990 de muitos CDEs relacionados aos combustíveis fósseis, e em particular pela amarga experiência por décadas na Amazônia do Equador e no Delta do Níger na Nigéria. Isso faz parte do movimento mundial por justiça ambiental. Os manifestantes são indígenas e pessoas relativamente pobres em alguns casos, ou classe média e profissionais em outros casos. Eles pertencem ou são apoiados por EJOs (Organizações de Justiça Ambiental) locais e, às vezes, por EJOs internacionais. Os protestos relacionados às mudanças climáticas têm mais probabilidade de atrair EJOs internacionais do que protestos ambientais puramente locais sobre a expropriação dos direitos de acesso à terra e à água.

No EJAAtlas como um todo, a taxa de sucesso em protestos ambientais chega a 17 por cento, geralmente significando “projeto interrompido”. O resto são “falhas” e “não sei”. A taxa de sucesso é semelhante para os 612 conflitos de combustíveis fósseis registrados, dos quais 90 são considerados bem-sucedidos (30 de abril de 2021). Reivindicações locais contra combustíveis fósseis (e também contra muitos outros investimentos que indiretamente aumentam as emissões de GEE) contribuem, se bem-sucedidas, para a justiça climática local e global. Eles previnem danos locais e evitam emissões de GEE. No entanto, há muitas questões envolvidas em tais protestos que não podem ser reduzidas simplesmente à contabilidade em termos de toneladas de GEE - ou em termos de dinheiro -

como evitar derramamentos de óleo, acidentes de mineração, poeira de carvão, poluentes de usinas de energia e doenças respiratórias, tal como pneumopatias.

Nossa hipótese é que as muitas reivindicações de base de LFFU poderiam dar uma contribuição encorajadora do lado da oferta para a redução necessária das emissões de dióxido de carbono e, além disso, ter outros benefícios colaterais (TEMPER et al., 2020; ROY e MARTINEZ-ALIER, 2021). As reivindicações locais têm uma multiplicidade de expressões e atores sociais, mas há raízes estruturais semelhantes em todas elas: a economia industrial caminha inevitavelmente para as fronteiras de extração de commodities e de descarte de resíduos porque a energia não é reciclada, e os materiais são reciclados apenas em pequena extensão. A entropia causa conflitos, enquanto as tentativas de tornar a economia menos entrópica podem causar outros conflitos. É tarefa da economia ecológica e da ecologia política revelar essas conexões.

[1] *Leave fossil fuels underground* (Deixar os Combustíveis Fósseis no Subsolo). Artigo originalmente publicado na Revista *Seminar* (n.744, 2021), com o título “*Ecological Conflicts and LFFU*”.

[2] ICTA-UNIVERSITAT AUTÓNOMA DE BARCELONA.

---

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGARWAL, Anil; NARAIN, Sunita. *Global Warming in an Unequal World: A Case of Environmental Colonialism*. **Centre for Science and Environment**, New Delhi, 1991.
- AVILA, Sofia. Environmental Justice and the Expanding Geography of Wind Power Conflicts. **Sustainability Science**, v. 13, n. 3, p. 500-616, 2018.
- BANOUB, Daniel *et al.* Industrial Dynamics on the Commodity Frontier: Managing Time, Space and Form in Mining, Tree Plantations and Intensive Aquaculture. **Environment and Planning E: Nature and Space**, 2020.
- BASSEY, Nnimmo. Let's Leave Nigeria's Oil in the Soil. No To More Oil Blocks in Niger Delta. 19 February, 2009. Disponível em: <https://www.pambazuka.org/land-environment/lets-leave-nigeria%E2%80%99s-oil-soil>
- BHAGWATI, Jagdish, A New Approach to Tackling Climate Change. **Financial Times**, 22 February 2010.
- BISHT, Arpita. Conceptualizing Sand Extractivism: Deconstructing an Emerging Resource Frontier. **The Extractive Industries and Society**, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100904>
- CHATTERJEE, Soumya. Fridays for Future was on govt radar long before Disha Ravi's arrest: An inside view, 2021. Disponível em: <https://www.thenewsminute.com/article/fridays-future-was-govt-radar-long-disha-ravis-arrest-inside-view-143502>
- DELL'ANGELO, Jampel *et al.* Commons Grabbing and Agribusiness: Violence, Resistance and Social Mobilization. **Ecological Economics**, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107004>.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. Energy and Economic Myths. **Southern Economic Journal**, v. 41, n. 3, p. 347-381, 1975.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The Entropy Law and the Economic Process**. Harvard U.P. Cambridge, MA, 1971.
- GIAMPIETRO, Mario; FUNTOWICZ, Silvio O. From Elite Folk Science to the Policy Legend of the Circular Economy. **Environmental Science and Policy**, v. 109, p. 64-72, 2020.
- GODARD, Olivier. Ecological Debt and Historical Responsibility Revisited: The Case of Climate Change. **EUI Working Papers**, RSCAS 2012/46. European University Institute, Florence, 2012.
- GUHA, Ramachandra; MARTINEZ-ALIER, Joan. **Varieties of Environmentalism**. Essays North and South. Earthscan and Oxford U.P., London and Delhi, 1997.
- HAAS, Willi *et al.* Spaceship Earth's Odyssey to a Circular Economy – A Century Long Perspective. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 163, 2020.
- HAAS, Willi *et al.* How Circular is the Global Economy? An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005. **Journal of Ind. Ecology**, v. 19, n. 5, p. 765-777, 2015.

- HAMILTON, Clive. **Earth Masters**. The Dawn of the Age of Climate Engineering. Yale University Press, New Haven, CT, 2013.
- HANÁČEK, Ksenija; KRÖGER, Markus; MARTINEZ-ALIER, Joan. On Thin Ice: The Arctic Commodity Extraction Frontier and Environmental Justice Conflicts. **Ecological Economics**, 2021.
- HARVARD UNIVERSITY. Commodity Frontiers Initiative (CFI) of Ghent University – Harvard University – International Institute of Social History – Wageningen University (S. Beckert, Ulbe Bosma, Eric Vanhoute). <https://wigh.wcfia.harvard.edu/commodity-frontiers-initiative>.
- JOSEPH, Sabrina (ed.) **Commodity Frontiers and Global Capitalist Expansion**. Social, Ecological and Political Implications from the Nineteenth Century to the Present Day. Palgrave Macmillan, 2019.
- KAPP, K.W. **The Social Costs of Business Enterprise** (revised and enlarged edition of *The Social Costs of Private Enterprise*, 1950). Spokesman, Nottingham, 1963/1978.
- KLEIN, Naomi. **This Changes Everything: Capitalism vs. The Climate**. Simon and Schuster, New York, 2014.
- KRAUSMANN, Fridolin *et al.* From Resource Extraction to Outflows of Wastes and Emissions: The Socioeconomic Metabolism of the Global Economy, 1900-2015. **Global Environmental Change**, v. 52, p. 131-140, 2018.
- LEE, Richard B. **The !Kung San: Men, Women and Work in a Foraging Society**. Cambridge U.P., Cambridge, 1979.
- LEVENDA, A.M.; BEHRISIN, I.; DISANO, F. Renewable Energy for Whom? A Global Systematic Review of the Environmental Justice Implications of Renewable Energy Technologies, **Energy Research & Soc. Sciences**, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101837>
- MARTINEZ-ALIER, Joan. Climate Justice, **Development and Change**, v. 46, n. 2, p. 381-386, 2015.
- MARTINEZ-ALIER, Joan. Mapping Ecological Distribution Conflicts: The EJAtlas. **The Extractive Industries and Society**, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.02.003>
- MARTINEZ-ALIER, Joan. Distributional Issues in Ecological Economics. **Review of Social Economy**, v. 53, p. 511-28, 1995.
- MARTINEZ-ALIER, Joan; O’CONNOR, M. ‘Ecological and Economic Distribution Conflicts. *In*: COSTANZA, R.; MARTINEZ-ALIER, Joan, SEGURA, O. (eds.), **Getting Down to Earth: Practical Applications of Ecological Economics**. Island Press/ISEE, Washington, DC, 1996.
- MARTINEZ-ALIER, Joan. Environmental Justice and Economic Degrowth: An Alliance Between Two Movements. **Capitalism Nature Socialism**, v. 2, n. 1, p. 51-73, 2012.
- MARTINEZ-ALIER, Joan. Mapping Ecological Distribution Conflicts: The EJAtlas. **The Extractive Industries and Society**, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.02.003>
- MARTINEZ-ALIER, Joan. **The Environmentalism of the Poor**. A Study of Ecological Conflicts and Valuation. Edward Elgar, Cheltenham, 2002.

- MARTINEZ-ALIER, Joan, Environmental Justice (Local and Global). *In*: JAMESON, F.; MIYOSHI, M. (eds.). **The Cultures of Globalization**. Duke U.P., 1998, p. 312-326.
- MARTINEZ-ALIER, Joan; MUNDA, Giuseppe, O'NEILL, John. Weak Comparability of Values as a Foundation for Ecological Economics. **Ecological Economics**, v. 26, n. 3, p. 277-286, 1998.
- MARTINEZ-ALIER, Joan; SCHLÜPMANN, K. **Ecological Economics: Energy, Environment and Society**. Blackwell, Oxford, 1987.
- MARTINEZ-ALIER, Joan *et al.* Is There a Global Environmental Justice Movement? **Journal of Peasant Studies**, v. 43, n. 3, p. 731-755, 2016.
- MOORE, Jason W. Sugar and the Expansion of the Early Modern World-Economy: Commodity Frontiers, Ecological Transformation, and Industrialization. **Review** (Fernand Braudel Center), v. 23, n. 3, p. 409-433, 2000.
- NAVAS, Grettel; MINGORRÍA, Sara; AGUILAR-GONZALEZ, Bernardo. Violence in Environmental Conflicts: The Need for a Multidimensional Approach. **Sustainability Science**, v. 13, n. 3, p. 649-660, 2018.
- NEWELL, P.; SIKOR, T. Globalizing Environmental Justice? **Geoforum**, v. 54, p. 151-157, 2014.
- PARIKKA, Jussi. **A Geology of Media**. University of Minnesota Press, 2015.
- RAPPAPORT, R. **Pigs for the Ancestors: Ritual in the Ecology of a New Guinea People**. Yale U.P., New Haven, 1968.
- ROY, Brototi; SCHAFFARTZIK, Anke. Talk Renewables, Walk Coal: The Paradox of India's Energy Transition. **Ecological Economics**, v. 180, 2021.
- ROY, Brototi. Ecological Distribution Conflicts in India: A Bird's Eye View. **Ecología Política**, v. 55, 2018. <https://www.ecologiapolitica.info/?p=11057> 9
- ROY, Brototi. **Koyla Kahini: The Political Ecology of Coal in India**. PhD thesis, ICTA, UAB, Barcelona, 2021.
- ROY, Brototi; MARTINEZ-ALIER, Joan. Weaving Our Way Through Environmental Justice Movements in India. *In*: SUNDAR, N.; RAGHAVAN, S. (eds.) **A Functioning Anarchy? Essays for Ramachandra Guha**. Penguin, Delhi, 2021.
- ROY, Brototi; MARTINEZ-ALIER, Joan. Ecological Distribution Conflicts in India: An Analysis of the Multiple Manifestations of Violence. **Ecology, Economy, Society**, v. 2, n. 1, 2019. DOI: 10.37773/ees.v2i1.56
- SCHEIDEL, A. *et al.* Ecological Distribution Conflicts as Forces for Sustainability: An Overview and Conceptual Framework. **Sustainability Science**, v. 13, n. 3, p. 585-598, 2018.
- SCHEIDEL, A. *et al.* Environmental Conflicts and Defenders: A Global View. **Global Environmental Change**, v. 63, July 2020. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102104>.
- SCHINDLER, S.; DEMARIA, F. Garbage is Gold: Waste-Based Commodity Frontiers, Modes of Valorization and Ecological Distribution Conflicts. **Capitalism, Nature and Socialism**, v. 31, n. 4, p. 52-59, 2020.

TEMPER, L, Blocking Pipelines, Unsettling Environmental Justice: From Rights of Nature to Responsibility to Territory. **Local Environment**, v. 24, n. 2, p. 94-112, 2019.

TEMPER, L. Globalizing Environmental Justice: Radical and Transformative Movements Past and Present. *In*: HOLIFIELD, R; CHAKRABORTY, J.; WALKER, G. (eds.) **The Routledge Handbook of Environmental Justice**. Routledge, Abingdon and New York, 2018, p. 490-503.

TEMPER, L. *et al.* Movements Shaping Climate Futures: A Systematic Mapping of Protests Against Fossil Fuel and Low-Carbon Energy Projects. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 2, 2020.

TEMPER, L.; DEL BENE, D.; MARTINEZ-ALIER, Joan. Mapping the Frontiers and Front Lines of Global Environmental Justice: The EJAtlas. **J. of Political Ecology**, v. 22, p. 255-278, 2015.

TEMPER, L. *et al.* The Global Environmental Justice Atlas (EJAtlas): Ecological Distribution Conflicts as Forces for Sustainability. **Sustainability Science**, v. 13, n. 3, p. 573-584, 2018.

TEMPER, L. *et al.* Towards a Post-Oil Civilization: Yasunization and Other Initiatives to Leave Fossil Fuels in the Soil'. EJOLT Report. **Relatório**. N. 6, p. 204, 2013.

TEMPER, L; MARTINEZ-ALIER, J. Oil and Climate Change: Voices from the South. **Economic and Political Weekly**, v. 42, n. 50, p. 16-19, 2007.

TEMPER, L; MARTINEZ-ALIER, J. The God of the Mountain and Godavarman: Net Present Value, Indigenous Territorial Rights and Sacredness in a Bauxite Mining Conflict in India. **Ecological Economics**, v. 96, p. 79-87, 2013.

TRAN, D. *et al.* Gendered Geographies of Violence: A Multiple Case Study Analysis of Murdered Women Environmental Defenders. **J. of Political Ecology**, v. 27, n. 1, p. 1189-1212, 2020.

WARLENIUS, R.; PIERCE, G.; RAMASAR, V. Reversing the Arrow of Arrears: The Concept of "Ecological Debt" and its Value for Environmental Justice. **Global Environmental Change**, v. 30, p. 21-30, 2015.