



METABOLISMO SOCIOECONÔMICO (MSE): CONSTRUÇÃO CONCEITUAL E CONVERGÊNCIA COM A ECONOMIA ECOLÓGICA (EE)

Anderson Henrique dos Santos Araújo

Doutorando, Instituto de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Uberlândia

anderson.hsa@gmail.com

Daniel Caixeta Andrade

Professor, Instituto de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Uberlândia

daniel.andrade@ufu.br

Henrique Ferreira de Souza

Doutorando, Instituto de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Uberlândia

henriquefsz@yahoo.com.br

Resumo

O metabolismo socioeconômico (MSE) é uma perspectiva teórica e metodológica que tem a pretensão de entender as relações entre as sociedades e a natureza, no sentido de qualificação e quantificação dos impactos biofísicos advindos da apropriação dos seus recursos energéticos e materiais, liberação de resíduos e rejeitos, e efeitos sinérgicos dessas atividades como consequência da ação humana. Partindo dessa abordagem, o presente estudo analisa a inter-relação entre o MSE e economia ecológica (EE), verificando que existe uma convergência teórico-metodológica entre ambas as abordagens. Metodologicamente, o estudo constituiu de um levantamento documental, analisando pesquisas acadêmicas teóricas e aplicadas sobre a temática. Os resultados demonstram que o MSE pode contribuir metodologicamente para a análise de dados e informações na EE, sobretudo na análise macroeconômica, segmento que vem ganhando relevância na última década.

Palavras-chave: metabolismo socioeconômico, economia ecológica, contabilidade de fluxo de materiais, escala econômico-ecológica, macroeconomia ecológica.

Abstract

The socioeconomic metabolism (SEM) is a theoretical and methodological perspective that pretends to understand the interrelations between nature and society by quantifying and qualifying the biophysical impacts arising from the appropriation of energy and material resources provided by the environment. Based on this approach, the present study analyses the connections between SEM and ecological economics (EE), indicating that there is a theoretical-methodological convergence between these two approaches. Methodologically, the study consisted of a documentary survey, analysing the academic and applied researches on the subject. The results demonstrated that SEM can be used for an analysis of data and information in EE, especially in the emergent field of ecological macroeconomics.

Key words: socioeconomic metabolism, ecological economics, material flow account, ecological-economic scale, ecological macroeconomics.

Códigos JEL: Q50; Q57



1. Introdução

O tratamento teórico dedicado ao meio ambiente na ciência econômica recebeu profundas modificações na segunda metade do século XX, impactado, dentre outros fatores, pelas reflexões sobre qual meio ambiente seria legado às gerações futuras. Cronologicamente, a problemática ambiental entra de maneira mais incisiva na pauta das discussões econômicas a partir de 1960 como desdobramento de publicações importantes, como *Silent Spring* (Carson 1962) e *The Limits to Growth* (Meadows et al. 1972).

Estes e outros trabalhos seminais¹ chamavam a atenção para a problemática da expansão demoeconômica em um mundo finito de recursos e as consequências negativas em termos de erosão da qualidade de vida humana advindas desse processo. Meadows et al. (1972), por exemplo, pautaram as discussões da primeira conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) em 1972, levando alguns a colocar a necessidade do “crescimento zero” como solução.

No bojo das discussões ambientais no segundo quartil do século XX, mais precisamente no final da década de 1980, formaliza-se a Economia Ecológica (EE), para quem a eficiência alocativa é um objetivo a ser alcançado apenas após a distribuição justa e a escala sustentável de utilização dos recursos naturais terem sido consideradas e determinadas. Diferentemente do esquema analítico convencional, os pressupostos da EE partem da consideração de que o sistema econômico é um subsistema de algo mais amplo e complexo, a ecossfera terrestre (Daly 1996, Daly 2007).

¹ Destacam-se *The Population Bomb* (Ehrlich 1968), *The Tragedy of the Commons* (Hardin 1968) e *The Economics of the Coming Spaceship Earth* (Boulding 1966).

Partindo do princípio de que a ideia de sustentabilidade requer a manutenção de relações harmoniosas e não destrutivas entre natureza, sociedade e sistema econômico, e de que a EE pretende ser a ciência de gestão da sustentabilidade (Costanza 1994), não resta dúvida de que o foco da análise econômico-ecológica recai sobre a natureza das relações estabelecidas entre meio ambiente e sistemas socioeconômicos. Desta constatação emerge o conceito de escala econômico-ecológica (ou “escala”), que passa a representar uma categoria analítica distintiva da EE. De maneira geral, escala econômico-ecológica se refere às dimensões relativas entre sistema econômico e o sistema maior que o contém (o ecossistema terrestre) (Daly 1996, Lawn 2001, Cechin 2010, Cechin e Veiga 2010).

O aumento significativo dos fluxos e estoques de materiais apropriados pelas sociedades humanas², a dupla limitação nas quantidades físicas e na capacidade ecossistêmica de absorção de resíduos, juntamente com a dependência inexorável do sistema econômico em relação ao meio ambiente, são as justificativas fundacionais da ideia de escala. Esta precisa ser ecologicamente sustentável, no sentido de que deve respeitar os limites de resiliência dos ecossistemas, e ótima do ponto de vista econômico, uma vez que os benefícios líquidos em termos de bem-estar devem ser maximizados (Daly 2007).

A despeito da relevância do conceito, são relativamente escassos os esforços de mensuração das escalas. Neste contexto, a abordagem de metabolismo socioeconômico

² Krausmann et al. (2009) estimaram que ao longo do século XX (1900-2005) houve um aumento de 8 vezes no uso de materiais, chegando a um fluxo anual de 60 bilhões de toneladas. No que se refere aos estoques, Krausmann et al. (2017) mostram que os estoques de materiais expandiram 23 vezes, exigindo metade do fluxo anual de recursos.



(MSE) pode, por hipótese, ser importante por dois motivos: i) cumpre o papel de analisar as relações estabelecidas entre sistema econômico e meio ambiente do ponto de vista quantitativo e qualitativo; ii) os indicadores que emergem da análise do MSE podem ser utilizados como parâmetros para a mensuração da escala econômico-ecológica.

Considerando, pois, a relevância da análise sociometabólica dentro da perspectiva mais ampla da EE, este artigo tem como objetivo realizar uma discussão teórico-metodológica acerca do MSE, enfatizando a sua convergência com os princípios econômico-ecológicos. Parte-se da premissa de que o MSE pode se estabelecer como uma linha de pesquisa importante dentro de abordagens emergentes como a macroeconomia ecológica.

O artigo, que se constitui basicamente de levantamento documental das pesquisas sobre a temática de MSE e seu cotejo com as contribuições já consolidadas da EE, está estruturado da seguinte forma: além dessa introdução, a primeira seção discute o marco conceitual do metabolismo social e econômico. Em seguida, são apresentadas e discutidas algumas questões envolvendo a EE e suas inter-relações com o MSE. Por fim, à guisa de conclusão, encerra-se o trabalho com a sistematização das ideias apresentadas.

2. O marco conceitual do metabolismo econômico e social

Recorrente em estudos das ciências naturais, o termo metabolismo é pouco utilizado em ciências econômicas. O relativo descaso dos economistas pelas análises de metabolismo está ligado ao foco quase exclusivo atribuído aos fluxos monetários entre os agentes econômicos. Este viés analítico é demonstrado pelo tradicional fluxo circular da renda, em que

se analisa de que maneira a renda (um fluxo monetário) se movimenta mecanicamente entre os agentes econômicos. Segundo Daly (2007), é como se a representação convencional do funcionamento do sistema econômico explicitasse apenas seu sistema circulatório, desprezando seu aparelho digestivo, responsável pelas trocas materiais e energéticas entre sistema econômico e meio ambiente³.

Nicholas Georgescu-Roegen, maior referência teórica da moderna EE, questionou a maneira simplista com a qual as ciências econômicas representavam o processo de produção. Em sua obra magna (Georgescu-Roegen 1971), fez uma crítica contundente a respeito da interpretação de que o sistema econômico se autopreserva e é isolado em última instância. Ali, descrevia que *“economics cannot abandon its commodity fetishism any more than physics can renounce its fetishism of elementary particle or chemistry can renounce that of molecule”* (1971: 218). Quatro anos depois, em artigo clássico, Georgescu-Roegen (1975: 348) afirma o seguinte:

“Nothing illustrates better the basic epistemology of standard economics than the usual graph by which almost every introductory manual portrays the economic process as a self-sustaining, circular flow between “production” and “consumption”. But even money does not circulate back and forth within the economic process; for both bullion and paper money ultimately become worn out and their stocks must be replenished from external sources. The

³ Daly (1968) chama a atenção para as semelhanças entre economia e biologia. O fundamento da analogia que o autor faz entre estas duas ciências estão no reconhecimento de que ambas têm o mesmo objeto de estudo, qual seja, “o processo da vida”.



crucial point is that the economic process is not an isolated, self-sustaining process. This process cannot go on without a continuous exchange which alters the environment in a cumulative way and without being, in its turn, influenced by these alterations”.

Parece claro, portanto, o motivo pelo qual a análise dos fluxos metabólicos (matéria e energia) é marginal dentro da estrutura analítica neoclássica⁴. Todavia, ao assumir que o sistema econômico é um organismo vivo, complexo e heterótrofo, é forçoso admitir que trocas metabólicas de energia e matéria entre meio ambiente e sistema econômico são imprescindíveis para a manutenção da dinâmica econômica e sua capacidade de atingir seu fim último, qual seja, a prosperidade humana contínua (não apenas material, mas sobretudo a espiritual), condicionada a um mundo finito e sem combinações destrutivas. De fato, como afirma Daly (1968), o processo metabólico, dividido em anabolismo e catabolismo, tem como propósito (valor produzido) a manutenção da vida, enquanto que o propósito (valor produzido) do processo econômico é a manutenção do *prazer* da vida.

O conceito de metabolismo, primeiramente desenvolvido e utilizado na bioquímica e biologia, é entendido, para essas áreas, como a totalidade das reações bioquímicas em uma coisa viva, de forma que todo produto de uma reação é a base para a próxima (Purves et al. 1992).

Ressalta-se também que o termo metabolismo é apresentado de diferentes maneiras, podendo ser classificado como metabolismo social (ou socioeconômico) ou industrial. O metabolismo social se aproxima do conceito da

biologia, sendo, pois, uma perspectiva teórica e metodológica que auxilia os pesquisadores a entenderem as relações entre as sociedades e a natureza, no sentido de qualificação e quantificação dos impactos gerados à natureza pela apropriação dos seus recursos energéticos e materiais, liberação de dejetos e efeitos sinérgicos dessas atividades a partir da ação humana. Enfatizar sistemas sociais do ponto de vista do seu sociometabolismo requer analisar os sistemas econômicos historicamente estabelecidos em termos de fluxos e estoques biofísicos (Fischer-Kowalski e Haberl 2015).

A importância da abordagem sociometabólica – ou sociometabolismo (ou ainda metabolismo socioeconômico, como é preferido neste trabalho) – reside na premissa básica de que informações quantitativas e qualitativas sobre as interações entre ecossistemas (ou genericamente o mundo natural) e as sociedades e sistemas econômicos historicamente estabelecidos são necessárias para a operacionalização e estabelecimento de estratégias para o desenvolvimento sustentável (Fischer-Kowalski e Haberl 1998). Por outro lado, análises sociometabólicas podem fornecer importantes distinções em termos de culturas, modos de vida, padrões de produção e reprodução das sociedades.

Apesar da facilidade de compreensão da ideia de sociometabolismo, Fischer-Kowalski (1998), ao realizar um importante levantamento dos trabalhos correlatos, seus autores e tradições, chama a atenção para algumas questões importantes sobre a apropriação do conceito de metabolismo em outras áreas. Ainda segundo esta autora, os primeiros trabalhos encontrados datam da década de 1860, nas áreas de biologia, ecologia, teoria social, antropologia cultural e geografia social. São estes, principalmente, que serão a base para os estudos sobre metabolismo industrial

⁴ A contribuição do pensamento de Georgescu-Roegen para a economia ecológica (e para o MSE) será retomada no item 3.



elaborados a partir de 1960, ainda que só a partir de 1980 este paradigma se tornaria relevante para as análises da relação sociedade-natureza⁵.

No âmbito das ciências sociais, o conceito de metabolismo foi primeiramente utilizado por Marx e Engels, no século XIX, a partir da análise do processo de trabalho, na perspectiva de que esse tem como objetivo transformar/adequar substâncias naturais às necessidades dos homens. Marx, em outra situação, utiliza o conceito de metabolismo social para ilustrar o intercâmbio de mercadorias e as relações de produção na sociedade. Entretanto, a limitação do uso desse conceito pelos autores está em não tratar as consequências e outras características de importância ecológica (Fischer-Kowalski e Haberl 1998, Toledo 2013, Foster 2015).

Dentre os estudos mais importantes dos anos 1970 a 1998 relacionados ao conceito mais geral de metabolismo social, Fischer-Kowalski e Hüttler (1998) também fazem um conveniente levantamento e qualificação desses trabalhos por meio de vários critérios que deixam mais claras as várias abordagens tratadas. Assim, três subdivisões são elencadas: 1ª) socioeconômica (mais ligada às ciências sociais) ou ecossistêmica (mais ligada à perspectiva ecológica); 2ª) nível de sistema (global, nacional, regional, funcional e

temporal); e 3ª) fluxos tratados (materiais, energia, substâncias).

Toledo (2013) defende que o metabolismo social contém duas dimensões: *tangível* e *intangível*. A primeira (Figura 1) inicia-se a partir da apropriação de matéria e energia fornecidas pela natureza (entrada), por seres humanos agrupados socialmente, e termina com a excreção de resíduos (saída). Entre esses dois extremos, ocorrem também os processos de transformação, circulação e consumo.

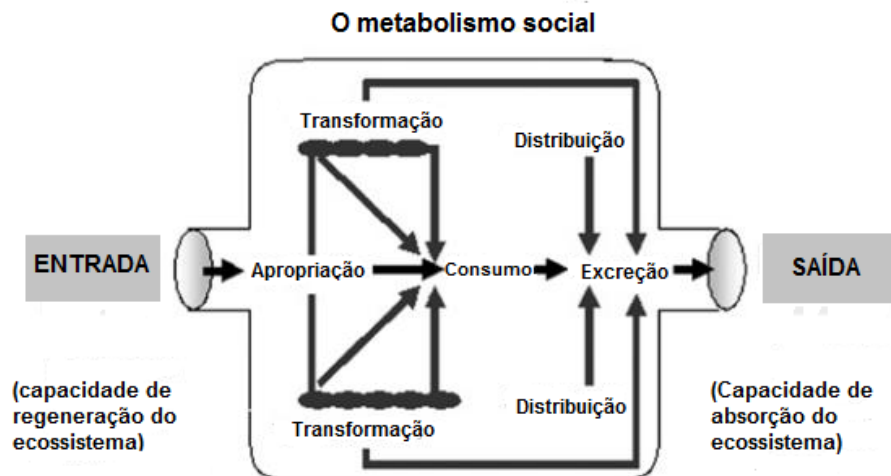
O processo de transformação se refere a todas as mudanças realizadas sobre os recursos extraídos da natureza, até nas suas formas mais simples, como o cozimento de alimentos. Ao longo do tempo, esta atividade tem se tornado cada vez mais complexa, dada a sua menor intensidade no uso de energia e trabalho. A atividade de circulação passa a ser necessária a partir do momento em que a produção gera excedente. A eficiência da circulação tem se elevado com o tempo, uso do dinheiro, novos meios de pagamento, segurança da propriedade privada e crescimento dos mercados. À medida que estes evoluem, a circulação demanda, em valores absolutos, maior consumo de energia e matéria.

Por seu turno, o consumo está ligado diretamente à satisfação das necessidades e também às etapas anteriores. Esse é um dos fatores mais importante e determinantes do metabolismo social e, principalmente, do metabolismo industrial. Todo o processo se inicia para (e a partir) da possibilidade de consumo final.

⁵ Marina Fischer-Kowalski, ex-presidente da *International Society for Ecological Economics* (ISEE), é considerada a fundadora do *Institute for Social Ecology*, atualmente abrigado na *University of Natural Resources and Life Sciences* em Viena (Áustria) e um dos principais nomes na literatura sobre MSE. Ela e outros autores – como Fridolin Krausmann, Helmut Haberl e Nina Eisenmenger – compõem a “escola de ecologia social de Viena”. Uma detalhada e abrangente compilação das contribuições destes e outros autores foi publicada em Haberl *et al.* (2016).



Figura 1: O metabolismo social



Fonte: Toledo (2013: 48, tradução nossa)

Ao final, a excreção refere-se ao despejo de materiais e energia residuais das etapas anteriores (como gases, calor, lixo, etc.). A qualidade (recicláveis pela natureza ou não) e quantidade dos resíduos produzidos também é relevante, dada a capacidade regenerativa e de carga dos ecossistemas. Neste ponto, é importante a menção ao conceito de resiliência, uma vez que os fluxos metabólicos entre sociedade e natureza devem respeitar os limites ecossistêmicos. Para Arrow et al. (1995), as atividades econômicas apenas são sustentáveis se estiverem suportadas por ecossistemas resilientes. É certo, pois, que o MSE dedica papel importante a este conceito, distanciando-se, portanto, das análises neoclássicas, uma vez que estas desconsideram a ideia de resiliência.

Já em sua dimensão intangível, frequentemente negligenciada nas abordagens sociometabólicas, são enfatizadas as “molduras” nas quais os demais processos tangíveis, abrangendo todas os elementos não materiais que possibilitam, regulam, dão sentido e explicam as relações sociais

(crenças, imaginações, regras, linguagem, etc.) e, conseqüentemente, os processos metabólicos e suas articulações internas. A abordagem do MSE não desconsidera, portanto, análises de natureza institucional, pois estas são relevantes para auxiliar na compreensão de como, sob diferentes sistemas de organização socioeconômica, as sociedades decidem como se relacionarem com a natureza.

Seja em sua dimensão tangível (contabilidade de fluxos de materiais, principalmente) e ou dimensão intangível (aspectos sociais e institucionais que determinam os padrões de apropriação da natureza), é certo que o MSE é uma importante ferramenta de análise dos problemas mais aflitivos da contemporaneidade. As ciências, de maneira geral, possuem vários tipos de preocupações ambientais, como esgotamento de recursos renováveis e não renováveis, falta de recursos essenciais, erosão do solo, redução da biodiversidade, poluição acima da capacidade de absorção de resíduos, etc.



Entretanto, Fischer-Kowalski e Hüttler (1998) ressaltam que, embora essas preocupações sejam extremamente importantes, nenhuma é tão relevante quanto o conceito de metabolismo socioeconômico. O fato de o metabolismo social ter uma construção interdisciplinar, com possível construção de indicadores e mensuração dos fluxos de energia e matérias, fornece uma poderosa ferramenta de análise, uma vez que a construção de macroparâmetros e a consideração da eficiência do sistema relacionam-se bem com os parâmetros da economia e da contabilidade social, o que favorece a sua aplicabilidade.

Também é destacável a possibilidade de o metabolismo social fornecer análises mais completas das relações entre processos sociais e ambientais. Sua visão mais holística e integradora possibilita uma melhor compreensão da realidade, que é muito complexa (Toledo 2013). Pode ser considerado um dos instrumentos mais robustos para compreender as relações entre a sociedade e a natureza, dada a compreensão da economia como um arcabouço de fluxos de energias e materiais e subconjunto de um sistema maior, a ecossfera. Ainda, pode-se afirmar que o MSE é uma categoria do metabolismo social mais interativa com os aspectos econômicos⁶.

Nesse sentido, o MSE é visto como algo mais amplo, ou seja, o funcionamento geral do sistema, caracterizando seu funcionamento do ponto de vista energético/material. Fischer-Kowalski e Weisz (1999) e Krausmann et al. (2017) observam que o MSE vai além do simples fluxo de materiais, permitindo uma conexão de processos físicos e econômicos, permitindo uma aproximação entre as ciências

naturais e o desenvolvimento sustentável. Carpintero e Naredo (2005) consideram a categoria como um importante instrumento para qualificar fluxo e energia que atravessam a economia ao longo do tempo.

Haberl et. al. (2019) justificam que o MSE apresenta contribuições relevantes para a ciência da sustentabilidade, visto que aferem as pressões e os impactos ambientais da sociedade. Ademais, o MSE também fornece trajetórias de longo prazo entre o consumo de recursos e as características socioeconômicas, além de fatores políticos.

No Quadro 1 abaixo são apresentadas as diversificadas ferramentas para mensuração do MSE e seus respectivos fluxos (matérias, energias, substâncias, etc.), variando conforme o âmbito de análise. É possível perceber, porém, que os processos de contabilização tendem a seguir um padrão semelhante.

⁶ Autores como Fischer-Kowalski e Weisz (1999) consideram os termos social, socioeconômico e industrial como sinônimos.



Quadro 1: Metodologias utilizadas direta ou indiretamente em estudos de metabolismo social

NÍVEL DE ANÁLISE	METODOLOGIA
Análises Energéticas	Contabilidade fluxo de energia (EFA) Balanços de energia EROI (<i>Energy Return on Investment</i>) MuSIASEM Análise do ciclo de vida (LCA)
Análise de materiais	Contabilidade de Fluxos materiais (CFA) <i>Human Appropriation of Net Primary Production</i> (HANNP) Entrada de materiais por unidade de serviços (MIPS)
Substâncias	Contabilidade de fluxo de substâncias (SFA)
Território	Pegada Ecológica Terra Virtual LACAs (<i>land cost of agrarian sustainability</i>)
Outros	Balanços de carbono Água virtual Metabolismo hídrico Balanços de nutrientes

Fonte: Infante-Amate et. al. (2017: 137, tradução nossa).

No que se refere à análise de fluxos de materiais, a metodologia mais utilizada tende a ser a contabilidade fluxos ambientais (MFA, ou *metabolic flux analysis*)⁷. A MFA pode ser definida como o estudo de fluxos de materiais em escala global, nacional ou regional. Seu objetivo é, a partir de indicadores, compreender o fluxo material das ações humanas no meio ambiente, fundamentais para o planejamento, previsão e avaliação das atividades

⁷ Ou ainda MEFA (*material and energy flow analysis*).

econômicas. Segundo Haberl et al. (2019), um dos principais fundadores da MFA é Robert Ayres, que reivindicou o método do balanço de massa (conforme a 2ª Lei da Termodinâmica) na análise econômica em oposição a perspectivas puramente monetárias.

A relevância do método está na capacidade de aferir o MSE, visto que fornece bancos de dados abrangentes, inclusive consistente com as tradicionais contas nacionais. Assim, é possível construir análises que permitam um maior aproveitamento dos recursos naturais de



maneira sustentável. Além da investigação e mensuração dos fluxos de matéria e energia e os resíduos resultantes, as tendências mais recentes dentro da abordagem MFA (ou MEFA) compreendem a modelagem dinâmica dos estoques formados (*in-use stocks*) e os fluxos de materiais requeridos para o fornecimento de serviços físicos como transporte e abrigo. A entrada de material no sistema deve sempre igualar a saída, considerando também as mudanças de estoque material (Krausmann et al. 2017, Haberl et al. 2019).

Os indicadores de fluxo de material são definidos como medidas quantitativas que apontam, informam e descrevem as características dos fluxos e uso de recursos materiais⁸. Em síntese, descrevem o uso de materiais em uma determinada economia em toda cadeia de fluxo: desde a extração de matéria-prima até a geração de resíduos. Para Haberl et al. (2019: 3-4), "*studies of long-term trends in resource use as well as comparative cross-country datasets investigate the potentials for decoupling the use of materials and energy from economic growth and well-being*". Uma de suas vantagens é a simplificação do processo de comunicação, permitindo análises e construção de indicadores, que são construídos a partir de dados básicos (econômicos, ambientais, comerciais), e a partir da modelagem ou contabilidade são convertidos em índices (OECD 2008).

⁸ Não é objetivo deste artigo detalhar todos os indicadores e parâmetros que podem ser capturados a partir de uma análise sociometabólica. A título de ilustração, o apêndice a este artigo traz um quadro no qual se apresentam algumas categorias de fluxos e indicadores mais utilizados.

3. MSE e Economia Ecológica

Após uma apresentação mais detalhada sobre MSE, é necessário refletir sobre a convergência entre esta abordagem e a EE, principal objetivo deste artigo. Antes, porém, é conveniente apresentar algumas considerações sobre esta última (EE) de modo a facilitar a compreensão sobre quais pontos ambas as abordagens aqui tratadas convergem ou se distanciam.

Sem a intenção de realizar uma revisão exaustiva – e considerando que existe extensa literatura já consolidada⁹ –, é válido lembrar que a EE se autodenomina como a ciência da gestão da sustentabilidade, que em um sentido mais amplo pode ser compreendida como a manutenção das relações harmoniosas entre a sociedade (e seus sistemas sociais e econômico) e a natureza. De maneira geral, a EE tem como princípio norteador a busca pela compreensão de como é possível incrementar continuamente e de maneira sustentável a qualidade de vida humana sem se incorrer em combinações destrutivas e tendo-se em vista a finitude do ecossistema global.

A EE parte de uma cosmovisão em que o sistema econômico, de funcionamento termodinâmico (Georgescu-Roegen 1971), é um subsistema da biosfera, o que permite dizer que aqui a ideia escala se torna importante. Isso porque o subsistema econômico é aberto e possui tendências expansionistas, enquanto que o sistema terrestre é materialmente fechado. Em decorrência desta visão de

⁹ Sugere-se ao leitor a consulta ao primeiro número lançado pelo periódico *Ecological Economics*, em fevereiro de 1989, especialmente Costanza (1989). Ali são os apresentados as premissas fundantes da EE pelos autores pioneiros, muitos deles ainda influentes, como Herman Daly e Robert Costanza. Sugere-se também a consulta a importantes livros-textos da EE, como Daly e Farley (2003).



mundo, a EE admite a possibilidade de que o crescimento econômico – fenômeno eminentemente físico, mas mensurando em termos monetários (o PIB) – não seja possível e desejável em qualquer situação. Para os economistas ecológicos, uma vez ultrapassada a resiliência dos ecossistemas, o crescimento econômico pode resultar em benefícios líquidos negativos ao se considerar a destruição do capital natural (Daly 2007). Como decorrência, as questões relevantes passam a ser: i) a partir de qual momento a evolução das atividades econômicas pode romper com a resiliência dos ecossistemas (*qual a escala ecologicamente sustentável e ótima do sistema econômico?*); e ii) se o crescimento econômico indefinido não é possível, qual seria o construto social capaz de viabilizar a prosperidade contínua e sustentável da espécie humana (*é possível prosperar sem crescer?*).

Ao enfrentar estes macroproblemas – que se desdobram em inúmeras outras questões relevantes (justiça socioambiental, por exemplo) – a EE procura jogar um olhar transdisciplinar e sistêmico sobre as inexoráveis interfaces entre natureza, sociedade e economia. Partindo, pois, do reconhecimento de que existem permanentes inter-relações entre sistemas socioeconômico e natural, e que o principal foco da sustentabilidade é que tais sistemas mantenham saudavelmente suas relações ao longo do tempo, torna-se claro que o ponto de partida da EE é o entendimento da *natureza* das interfaces estabelecidas entre sistemas econômico e natural.

Evidencia-se aqui o primeiro ponto de convergência: na EE, assim como no MSE, o foco de análise deve recair na investigação das relações estabelecidas entre sociedade e natureza, tendo-se em vista o caráter evolucionário do sistema econômico e o permanente aparecimento de inovações dentro

deste último como reflexo de suas mudanças qualitativas. Esta visão schumpeteriana do sistema econômico não deve ser prescindida na análise, uma vez que a propensão a constantes inovações magnifica a capacidade de apropriação material e energética da espécie humana. Georgescu-Roegen aborda convenientemente este fato valendo-se dos conceitos de mecanismos/instrumentos *endossomáticos* e *exossomáticos*. Em suas palavras:

*“Apart from a few insignificant exceptions, all species other than man use only **endosomatic** instruments – as Alfred Lotka proposed to call those instruments (legs, claws, wings, etc.) which belong to the individual organism **by birth**. Man alone came, in time, to use a club, which does not belong to him by birth, but which extended his endosomatic arm and increased its power. At that point in time, man's evolution transcended the biological limits to include also (and primarily) the evolution of **exosomatic** instruments, i.e., of instruments produced by man but not belonging to his body. That is why man can now fly in the sky or swim under water even though his body has no wings, no fins, and no gills.”*
Georgescu-Roegen (1975: 369. Ênfases no original)

O reconhecimento do “poder exponencial” da espécie humana a respeito de seu potencial de apropriação dos estoques materiais e energéticos da crosta terrestre conduz Georgescu à conclusão de que o problema humano, diferentemente de todas as demais espécies, não é exclusivamente econômico nem exclusivamente biológico. É um problema eminentemente *bioeconômico*, que se manifesta, em última instância, pelas assimetrias entre as três fontes primárias de baixa entropia (energia solar, energia livre e os materiais ordenados do subsolo), que em sua



visão é a fonte primária da escassez (Georgescu-Roegen 1975).

A partir da preocupação “georgesquiana” com a evolução exossomática da sociedade, além do “vício” humano a este tipo de instrumento¹⁰, é nítido que uma análise metabólica é necessária para se compreender a evolução e as assimetrias de apropriação da matéria e energia disponíveis, suas mudanças quantitativas e qualitativas ao longo do tempo e os desdobramentos sobre as futuras gerações.

A partir da aceitação de que a teoria econômica neoclássica sofre de um inquietante “fetichismo” monetário e de uma enraizada epistemologia mecanicista (“um dogma banido até da física”, conforme palavras do próprio Georgescu-Roegen), a construção conceitual da EE está relacionada à visão de um sistema aberto cuja natureza é essencialmente termodinâmica, pois envolve contínuas transformações energéticas. Embora não tenha diretamente utilizado a expressão *economia ecológica* (chamou o campo de *bioeconomia* e recusou-se a participar da ISEE¹¹), deve-se ao autor romeno a compressão de uma visão mais realista das ciências e da natureza, com destaque à sua visão discordante do tradicional sistema do fluxo circular de renda (relação entre produção e consumo em economias de mercado). Além disso, Georgescu foi o primeiro autor da teoria econômica a clamar pela consideração da lei da entropia (a 2ª Lei da Termodinâmica). Na sua visão:

“Perhaps no other law occupies a position in science as singular as that of the

*Entropy Law. It is the only natural law which recognizes that even the material universe is subject to an irreversible qualitative change, to an evolutionary process This fact led some natural scientists and philosophers to suspect an affinity between that law and life phenomena. By now, few would deny that the **economy** of any life process is governed, not by the laws of mechanics, but by the Entropy Law”* (Georgescu-Roegen (1975: 352. Ênfase no original).

Do ponto de vista econômico, tal Lei enfatiza o fato de que não pode haver atividade econômica (produção ou consumo) que não resulte em resíduos, cujo destino final é o próprio meio ambiente. Enquanto os estoques de itens naturais apresentavam certa abundância, não era “problema destruí-los”, ou irrelevante seria considerá-los no processo produtivo. Essa foi a lógica dos economistas clássicos, suplantada pelos economistas neoclássicos, para os quais o problema ambiental poderia ser subsumido à própria ideia de crescimento econômico por meio de uma abordagem de sustentabilidade fraca (Mueller 2007).

Todavia, a busca de maior satisfação humana e eficiência econômica implica em uso crescente de recursos, o que resulta em problemas socioambientais, tanto do ponto de vista quantitativo (redução de estoques) e qualitativo (alteração na capacidade de oferta de serviços ecossistêmicos). Este processo sofreu um salto qualitativo considerável com a chama “Grande Aceleração”¹² dos anos 1950

¹⁰ Georgescu-Roegen aponta que a sociedade humana se tornou adicta aos instrumentos exossomáticos, cuja busca incessante é responsável pela introdução do conflito social entre os homens.

¹¹ International Society for Ecological Economics, fundada em 1989. Ver <http://www.isecoeco.org/>

¹² Sugere-se aqui consulta ao *The International Geosphere-Biosphere Programme* (<http://www.igbp.net/>), que se dedica a investigar as mudanças globais. Ali pode ser encontrada uma variedade de informações e dados que evidenciam a Grande Aceleração.



(Sttefen et al. 2008) e com a enorme complexidade exossomática propiciada pelo avanço tecnológico típico do capitalismo. É, pois, neste contexto que a EE e o MSE convergem para uma crítica e clamor a uma análise realista baseada nas trocas metabólicas entre sistema econômico e meio ambiente. O apego às contabilidades apenas monetárias conduz à ilusão de que variáveis econômicas como o PIB podem sofrer acréscimos infinitos e desconectados da sua realidade biofísica.

Além de desnudar a natureza termodinâmica do processo econômico, a análise metabólica oferece um outro ponto importante de convergência com a EE. O MSE explicita a natureza da “nova escassez” imposta ao mundo econômico, como já bem retratado por Herman Daly e outros economistas ecológicos na metáfora de *empty e full world*. Do ponto de vista prático, o MSE pode apontar quão escasso é o capital natural – ou mesmo sua velocidade de escasseamento – de modo a embasar a elaboração e implementação de novas políticas que maximizem a oferta do fator outrora abundante. É fundamental reconhecer que o padrão de escassez é dinâmico ao longo do tempo e que tal fato possui desdobramentos não desprezíveis para a gestão macroeconômica e para as próprias estratégias de desenvolvimento das nações (Andrade et al. 2012).

Cabe mencionar ainda o potencial de contribuição do MSE ao estudo da principal categoria analítica da EE, qual seja, a escala econômico-ecológica (ou simplesmente escala). É sabido que a visão pré-analítica da EE considera que o sistema econômico é um subsistema aberto da biosfera – materialmente fechada, embora aberta ao fluxo energético –, o que introduz relevantes indagações sobre a dimensão relativa entre esses dois sistemas. Muito embora a atenção às escalas

(sustentável, ótima e atual) esteja no centro da análise da EE, são relativamente escassos estudos metodológicos sobre esta questão¹³.

Para Andrade et al. (2018), a escala ecológica máxima é um problema biofísico, que requer avaliações que não estão ao alcance das análises puramente econômicas. Por outro lado, escala ótima diz respeito a um problema econômico, embora constrangido por uma restrição ecossistêmica. Nesta perspectiva, a obtenção de uma escala ótima pressupõe a consideração dos preços relativos praticados em determinado sistema econômico, de maneira a propiciar a eficiente alocação do fluxo sustentável de recursos. As avaliações biofísicas são necessárias no sentido de que servem ao objetivo de determinar os limites ecossistêmicos, muito embora ainda sejam embrionários os esforços de delimitação da resiliência dos ecossistemas¹⁴. Avaliações biofísicas também são requeridas de modo a evidenciar a aproximação e a possível ultrapassagem de tais limites. A centralidade do MSE para a EE torna-se clara, pois o estudo das escalas não deve se restringir apenas às dimensões teóricas do debate sobre limites ao crescimento, mas também é imperativo buscar análises empíricas que apontam para a (in)sustentabilidade do sistema econômico.

Como desdobramento da argumentação acima, percebe-se, portanto, uma convergência inequívoca. O MSE pode ser uma linha de pesquisa dentro de uma abordagem em ascensão dentro da EE. Trata-se da macroeconomia ecológica, que, em linhas

¹³ Destaca-se o trabalho de Malghan (2006) para construção de uma estrutura teórico-analítica-metodológica pra o estudo das escalas.

¹⁴ Registram-se os estudos do *Stockholm Resilience Centre*, que em 2009 introduziu a ideia de “fronteiras planetárias” como indicativo dos limites ecossistêmicos. Ver trabalho original desta abordagem em Rockström et al. (2009).



gerais, pode ser definida como “uma abordagem que pretende investigar, tanto do ponto de vista qualitativo e quantitativo, as possibilidades teóricas e práticas (políticas) de se compatibilizar o metabolismo socioeconômico – o *throughput* – à escala sustentável do sistema econômico” (Romeiro et al. 2018: 153). É evidente, pois, que a recente e inevitável incorporação de aspectos ambientais em modelos macroeconômicos não deve prescindir de análises metabólicas dos fluxos de matéria e energia entre sistema econômico e meio ambiente.

Se a macroeconomia ecológica pressupõe a compatibilização entre *throughput* e escala sustentável, é preciso preliminarmente

conhecer qual o volume de matéria e energia que adentra e deixa o sistema econômico em determinado período de tempo, além dos estoques líquidos que são acumulados no sistema econômico. Este nível de conhecimento – informações e ferramentas adequadas – só é possível por meio de análises sociometabólicas. Isto é, o ponto de partida da macroeconomia ecológica deve ser o conhecimento e a compreensão do perfil metabólico de determinado sistema econômico.

Diante das evidências esboçadas, o Quadro 2 abaixo sintetiza os elementos de convergência entre MSE e EE.

Quadro 2: Metabolismo socioeconômico e economia ecológica: elementos de convergência

- Raízes teóricas comuns: Nicholas Georgescu-Roegen e Robert Ayres;
- Cosmovisão comum: sistemas sociais e a engrenagem econômica estão inseridos em um sistema maior que lhes fornece matéria e energia para sua evolução;
- Visão sistêmica, integrada e coevolucionária entre sistemas naturais e sociais;
- Abordagem transdisciplinar do sistema produtivo e suas relações com a biosfera;
- Inserção dos princípios da Termodinâmica (noção de irreversibilidades, entropia e rejeição da visão mecanicista de mundo);
- Compreensão comum sobre o conceito de sustentabilidade: a condição necessária (mas não suficiente) é o respeito à resiliência ecossistêmica;
- Devida preocupação com a diferenciação entre fluxos e estoques;
- Macroeconomia ecológica: pressupõe o conhecimento do perfil metabólico de um sistema econômico e sua evolução temporal.

Fonte: elaborado pelos autores.

Sintetizando os argumentos, é visível a proximidade existente entre EE e MSE. Isto porque uma análise econômico-ecológica genuína pressupõe, em primeiro lugar, uma visão biofísica do processo econômico, dado que indicadores não monetários são necessários para o entendimento dos padrões de (in)sustentabilidade das sociedades. Ambas as abordagens partilham de uma visão holística sobre as inter-relações entre sistemas naturais,

sociais e econômicos, reconhecendo-se as hierarquias e os constrangimentos termodinâmicos que as moldam.

4. Considerações Finais

Como compara Carpintero (2015), da mesma maneira que os seres vivos ingerem energia e alimentos para o ciclo de reprodução e sobrevivência, excretando resíduos no meio



ambiente, a economia converte matéria-prima, energia e bens finais de consumo, gerando resíduos que também irão para a natureza. A expansão física do sistema econômico, reconhecida pelos economistas como crescimento econômico, altera do ponto de vista quantitativo e qualitativo o meio ambiente, gerando custos e oportunidades que potencialmente podem se tornar intoleráveis.

Ao considerar os fluxos de energia e materiais, mensurando-os, o MSE fornece respostas mais precisas à noção de sistema aberto proposta pela EE, quantificando os fluxos de energias, materiais e resíduos que compõem o uso do ecossistema terrestre, ou seja, a natureza como provedora e receptora dos impactos gerados pelo sistema econômico. Outra relevância do MSE está relacionada a sua base de dados, que contribui para uma análise macroeconômica ecológica, área de pesquisa que vem ganhando expressão e relevância na última década.

Além de apresentar de maneira sucinta a construção conceitual da abordagem do MSE, este artigo aponta para três principais considerações no que diz respeito à convergência entre EE e MSE: i) a explicitação da natureza termodinâmica do processo econômico; ii) a possibilidade de mensuração das escalas econômico-ecológicas e fornecimento de parâmetros para investigações sobre o nível de (in)sustentabilidade do sistema econômico; e iii) o conhecimento prévio do perfil metabólico de um sistema econômico e social é condição *sine qua non* para uma análise macroecológica. Depreende-se daí que é na análise macroeconômica que se tem o maior potencial de contribuição do MSE para a EE.

É conveniente lembrar que, como destacam Haberl et al. (2019), a abordagem do MSE oferece *insights* e implicações de

sustentabilidade em diferentes ângulos, combinando dados ecológicos e econômicos. O MSE ajuda a integrar a abordagem das ciências sociais na aceleração do Antropoceno, visto que fornece dados robustos de aceitação internacional. Todavia, o MSE também apresenta algumas limitações, dado seu caráter interdisciplinar, dificultando a identificação dos limites da pesquisa (e às vezes proliferando rótulos), além de ausência de pesquisas que avaliem o comportamento dos agentes individuais, a incorporação da incerteza nos métodos estatísticos empregados, dentre outros fatores.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), no âmbito do Programa Capes-PrInt, Código de Financiamento 8887.194876/2018-00.

Referências

- Andrade, D. C., De Mendonça, T. G. e A. R. Romeiro., 2018. Tendências do metabolismo da economia brasileira: uma análise preliminar à luz da Economia Ecológica. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* Vol. 28: 66-86.
- Andrade, D. C., Romeiro, A. R. e M. S. Simões., 2012. From an Empty to a Full World: a nova natureza da escassez e suas implicações. *Revista Economia e Sociedade* Vol. 21: 695-722.
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S. e D. Pimentel., 1995. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics* Vol. 15: 91-95.



- Boulding, K., 1966. The economics of the coming spaceship earth, em Boulding K. (ed) Environmental quality in a growing economy. John Hopkins University Press, Baltimore.
- Carpintero, O., 2005. El metabolismo económico regional español. FUHEM Ecosocial, Madrid.
- Carpintero, O. e J. M. Naredo., 2005. El metabolismo de la economía española. Fundación César Manrique, colección Economía vs Naturaleza, Madrid.
- Carson, R., 1962. Silent Spring. Pinguim Books, New York.
- Cechin, A. D., 2010. A natureza como limite da economia: a contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen. Editora Senac, São Paulo.
- Cechin, A. D. e J. E. Veiga., 2010. A economia evolucionária e ecológica de Georgescu-Roegen. Revista de Economia Política Vol. 30: 438-454.
- Costanza, R., 1994. Economía ecológica: una agenda de pesquisa, em: May, P. H. e Motta, R. S. (eds). Valorando a natureza: a análise econômica para o desenvolvimento sustentável. Campus, Rio de Janeiro.
- Costanza, R., 1989. What is Ecological Economics? Ecological Economics, Vol. 1: 1-7.
- Daly, H. E., 2007. Ecological economics and sustainable development. Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- Daly, H. E., 1996. Beyond growth: the economics of sustainable development. Beacon Press, Boston.
- Daly, H. E., 1968. On economics as a life science. Journal of Political Economy Vol. 76: p. 392-406.
- Daly, H. E. e J. Farley., 2003. Ecological economics: Principles and applications. Washington, DC. : Island Press.
- Ehrlich, P. R. .1968. The Population Bomb. 1a Edição. Ballantine Books, New York
- Fischer-Kowalski, M., 1998. Society's Metabolism. The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part I, 1860-1970. Journal of Industrial Ecology Vol. 2: 107–136.
- Fischer-Kowalski, M. e H. Haberl., 2015. Social metabolism: a metric for biophysical growth and degrowth, em: Martinez-Alier, J. e Muradian, R. (eds) Handbook of ecological economics. Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- Fischer-Kowalski M. e H. Weisz., 1999. Society as a hybrid between material and symbolic realms. Toward a theoretical framework of society-nature interaction. Advances in Human Ecology Vol. 8: 215–51.
- Fischer-Kowalski, M. e H. Haberl., 1998. Sustainable development. Long-term changes in socio-economic metabolism and colonization of nature. International Social Science Journal Vol. 158: 573-587.
- Fischer-Kowalski, M. e W. Hüttler., 1998. Society's Metabolism: The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998. Journal of Industrial Ecology Vol. 2: 107-136.
- Foster, J. B., 2015. Marxismo e Ecologia: fontes comuns de uma Grande Transição. Lutas Sociais Vol. 19: 81-97.
- Georgescu-Roegen, N., 1975. Energy and economic myths. Southern Economic Journal Vol. 41: 347-381.
- Georgescu-Roegen, N., 1971. The entropy law and the economic process. Harvard University Press, Cambridge.
- Haberl, H., Wiedenhofer, D., Pauliuk, S., Krausmann, F., Müller, D. B. e M. Fischer-Kowalski., 2019. Contributions of sociometabolic research to sustainability science. Nature Sustainability, New York.



Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F. e V. Winiwarter., 2016. *Social ecology: society-nature relations across time*. Spring International Publishing, Switzerland.

Hardin, G., 1968. *The tragedy of the commons*. *Science* Vol. 162: 1243-1248.

Infante-Amate, J., Molina, M. G. e V. M. Toledo., 2017. *El metabolismo social Historia, métodos y principales aportaciones*. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* Vol. 27:130-152.

Krausmann, F., Schandl, H., Eisenmenger, N., Giljum, S. e T. Jackson., 2017. *Material flow accounting: measuring global material use for sustainable development*. *Annual Review of Environmental Resources* Vol. 42: 647–675.

Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K. H., Haberl, H., e M. Fischer-Kowalski., 2009. *Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century*. *Ecological Economics* Vol. 68: 2696-2705.

Lawn, P.A., 2001 *Scale, prices, and biophysical assessments*. *Ecological Economics* Vol. 38: 369-382.

Malghan, D., 2006. *On being the right size: a framework for the analytical study of scale, economy, and ecosystem*. PhD dissertation – University of Maryland, College Park.

Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. e W. Behrens., 1972. *Limits to growth*. Universe Books, New York.

Mueller, C., 2007. *Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente*. UnB/ FINATEC, Brasília.

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2008. *Measuring material flows and resource productivity*. Synthesis report, Paris.

Purves, W. K., Orians, G. H. e H. C. Heller., 1992. *Life. The science of biology*. Sinauer, Sunderland.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F. S., Lambin, E.R., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Shellnhuber, H. J., Nykvist, B., Wit, C.A. De, Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L. Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. e J. Foley., 2009. *A safe operating space for humanity*. *Nature*, v. 461, p. 472-475.

Romeiro, A. R., Saes, B. M., Aggio, G., Andrade, D. C. e J. R. Garcia., 2018. *Macroeconomia Ecológica: Evolução e Perspectivas*. May P., Lustosa C., Vinha. V. (Orgs). *Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática*. Elsevier, Rio de Janeiro.

Steffen, W., Crutzen, P. e J. Mcneil., 2008. *The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature*. *Ambio* Vol.36: 614-21.

Toledo, V., 2013. *El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica*. *Relaciones* Vol. 34: 41-71.



Apêndice: Principais fluxos materiais e indicadores derivados de análises de fluxo de materiais

TIPO	SIGLA*	NOME E IDENTIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
Entradas (Input)	DE	Extração doméstica	Uso socioeconômico de materiais extraídos domesticamente
	UDE	Extração doméstica não utilizada	Uso socioeconômico de materiais extraídos domesticamente e armazenados
	DMI	Entrada Direta de Material (DE+ material importado)	Materiais que entram na produção nacional e no processo produtivo
	TMR	Exigência total de Material (DMI+UDE+Material indireto**)	Total de materiais consumidos no processo produtivo (incluindo os armazenados)
Trocas comerciais	PTB	Balança comercial (Exportação- Importação)	Balança comercial física
	RME _{export.} e RME _{import.}	Fluxo comercial de matérias-primas (fluxos de comércio direto +uso de material)	Incorporação de matéria-prima (exportada ou importada)
Saídas (Outputs)	DPO	Processo de saída doméstica	Materiais liberados para o ambiente doméstico sob a forma de resíduos, emissões ou produção intencional (Fertilizantes, refugos industriais, etc.)
Consumo	DMC	Consumo de material doméstico (DE+PTB)	Materiais utilizados na economia nacional (Perspectiva de produção)
	MF ou RMC	“pegada” material	Total de material utilizado no consumo doméstico (perspectiva de consumo)
Estoque	NAS	Adições líquidas de estoque	Crescimento anual de estoques
	MS	Estoque de material	Estoque acumulado, na forma material
Produto	MP	Produtividade material ou produtividade de recursos (Ex.: PIB****/DMC)	Valor adicionado produzido por unidade de consumo de material doméstico
	MI	Intensidade de Material (DMC/PIB)	Material utilizado por unidade de PIB

Fonte: Krausmann et al. (2017: 653, tradução nossa).

* As siglas refletem a nomenclatura em inglês; ** Refere-se aos materiais que são movidos ou extraídos da ecossfera terrestre sem a intenção de serem utilizados; *** na balança comercial física, as exportações são maiores que importações, significa que o país é um fornecedor líquido de recursos. Na situação contrária (importações maiores que exportações), o país é um receptor líquido de recursos. **** Produto Interno Bruto.