

Metabolismo Socioeconômico (MSE): construção conceitual e análise para o Brasil (1970-2016)

Anderson Henrique dos Santos Araújo¹, Daniel Caixeta Andrade²

¹ Professor assistente da Universidade Federal de Alagoas. Doutorando em Economia pelo Programa de pós-graduação em economia (PPGE), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). E-mail: anderson.hsa@gmail.com

² Professor adjunto. Universidade Federal De Uberlândia (UFU). E-mail: daniel.andrade@ufu.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 abordagem teórico/metodológica, descrevendo suas principais categorias de análise, sua relevância para economia ecológica (EE) e analisando o caso brasileiro. Metodologicamente, o estudo constituiu de um levantamento documental, analisando pesquisas acadêmicas teóricas e aplicadas sobre a temática. Complementarmente, foram apresentados dados para o fluxo de matéria e energia para a economia brasileira. Os resultados demonstram que o MSE pode contribuir metodologicamente para a análise de dados e informações na EE. Não obstante, os indicadores selecionados inferem que o fluxo de matéria e energia para o Brasil apresenta uma trajetória ascendente durante os anos 1970/2016.

Palavras-chave: Economia Ecológica, Metabolismo Socioeconômico, Material Flows.

Socioeconomic Metabolism (MSE): Conceptual construction and analysis for Brazil (1970-2016)

Abstract: The Socioeconomic metabolism (MSE) is a theoretical and methodological perspective that aims to understand the relationships between societies and nature, meaningless and quantification of biophysical damage, arising from the appropriation of their energy and material resources, waste and tailings, and synergistic effects of these activities as a consequence of human action. From this approach, the present study analyzes the theoretical / methodological approach, describing its main categories of analysis, its relevance to ecological economics (EE) and Brazilian case analysis. Methodologically, the study consists of a documentary survey, analyzing theoretical and applied academic research on a theme. In addition, data for the flow of matter and energy to the Brazilian economy were presented. The results demonstrated by the MSE can contribute methodologically to the analysis of data and information in the EE. Nevertheless, the selected indicators select the flow of materials and energy to Brazil that presents an upward trajectory during the years 1970/2016.

Keywords: Ecological economics, Socioeconomic Metabolism, Material Flows.

INTRODUÇÃO

Cronologicamente, a problemática ambiental entra de maneira mais incisiva em pauta nas discussões econômicas a partir de 1960, com a contestação da ideia liberal de que cada um agindo por si só levaria ao crescimento eterno e à prosperidade (NOBRE; AMAZONAS, 2002).

Os trabalhos seminiais¹ chamavam a atenção para a problemática da expansão demoeconômica, em um mundo finito de recursos, e o relacionamento desses com o crescimento econômico. O relatório de Meadows

(MEADOWS et al., 1972), por exemplo, pautou as discussões na 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 da segunda metade do século XX, mais precisamente no final da década de 1980, a eficiência alocativa é um objetivo a ser alcançado apenas após a distribuição justa e a

¹ Destacam-se Paul Ehrlich (“*The population bomb*”, 1968); o artigo de Garrett Hardin “*The tragedy of the*

Commons”, 1968), e “*The limits to growth*”, de Meadows” (1972

escala sustentável de utilização dos recursos naturais tiverem 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).

Partindo do princípio 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 (CONSTANZA, 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 contestação 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; CECHIN; VEIGA, 2010).

O aumento significativo dos fluxos e estoques de materiais, a dupla limitação nas quantidades físicas e na capacidade ecossistêmica de absorção de resíduos e dependência inexorável do sistema econômico com 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). Apesar da relevância do conceito, são relativamente escassos os esforços de mensuração das escalas.

Neste contexto, a abordagem de metabolismo socioeconômico (MSE) pode 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 complementaridade com os princípios econômico-ecológicos. Parte-se da premissa de que o MSE pode se estabelecer como uma linha de pesquisa importante no âmbito da construção de uma escala ótima econômico ecológica.

MATERIAL E MÉTODOS

A partir do objetivo principal da pesquisa, o metabolismo socioeconômico (MSE), o processo metodológico considerará como elemento geral um minucioso levantamento bibliográfico, a partir da consulta e análise da literatura nacional e internacional existentes. Para tanto, o estudo utilizou dissertações, teses, livros, periódicos e demais formas bibliográficas disponíveis em periódicos indexados e com qualis CAPES. No que se refere a coleta de dados para o trabalho, foram utilizadas a base de fluxo de material (www.materialflows.net), as quais compreendem os períodos de 1970 a 2016.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

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 entre os agentes econômicos. Segundo Daly (2007), é que 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 ambiente². Esta representação parcial da dinâmica do sistema econômico reflete e epistemologia mecanicista da análise econômica convencional oblitera a natureza termodinâmica dos processos

² Daly (1968) chama a atenção para as semelhanças entre economia e biologia. O fundamento da analogia que o autor faz entre estas duas ciências está no

reconhecimento de que ambas têm o mesmo objeto de estudo, qual seja, “o processo da vida”.

econômicos, permitindo, assim, a manutenção da crença de que o sistema econômico é isolado e autocontido.

Nicholas Georgescu-Roegen, matemático romeno que se enveredou pelas análises econômicas por meio da influência recebida de Joseph Schumpeter, é considerado uma das principais referências teóricas da EE. 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” (p. 218).

Vale destacar que a análise dos fluxos metabólicos (matéria e energia) é marginal dentro da estrutura analítica neoclássica. 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 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 essa área, 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 fluxos e estoques biofísicos (FISCHER-KOWALSKI, 2015).

A importância da abordagem sociometabólica – ou sociometabolismo (ou ainda metabolismo socioeconômico) – 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; 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 da área, os autores e suas 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, e são estes, principalmente, que serão a base para os estudos sobre metabolismo industrial elaborados a partir de 1960, ainda que só a partir de 1980 este paradigma se tornaria relevante para as análises da relação sociedade-natureza³.

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

³ Uma detalhada e abrangente compilação dessa escola de pensamento foi publicada em Haberl et al. (2016).

(FISCHER-KOWALSKI, 1998; TOLEDO, 2013; FOSTER, 2015).

Toledo (2013) defende que o metabolismo social contém duas dimensões: tangível e intangível. A primeira 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), como evidenciado na figura 1. Entre esses dois extremos, ocorrem, também, os processos de transformação, circulação e consumo.

O processo de transformação (T) 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.

Este fenômeno é análogo à produção, nomenclatura utilizada pelos economistas para designar a transformação de matéria e energia para obtenção de bens úteis à satisfação das necessidades humanas. A compreensão de que ocorrem transformações materiais e energéticas evidencia a natureza termodinâmica do processo econômico.

A atividade de circulação (C) passa a ser necessária a partir do momento em que a produção gera excedente. A eficiência da circulação também 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.

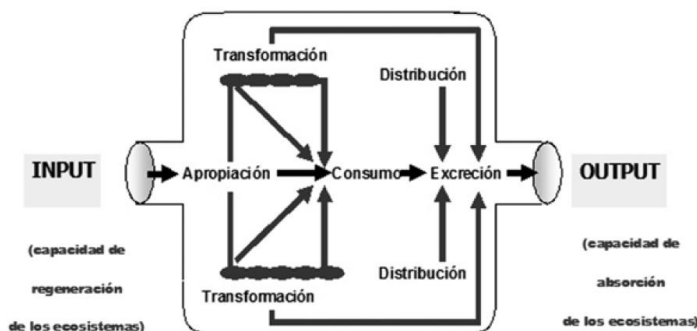


Figura 1 - Descrição do Metabolismo Social. Fonte: De Molina e Toledo (2011).

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

Ao final, a excreção (E) 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.

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, erosões, redução da biodiversidade, poluição acima da capacidade de absorção de resíduos. Entretanto, Fischer-

Kowalski e Hüttler (1998) ressaltam que, embora essas preocupações sejam extremamente importantes, nenhuma é tão relevante quanto o conceito de metabolismo socioeconômico.

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, subconjunto de um sistema maior, a ecosfera. Ainda, pode-se afirmar que o MSE é uma categoria do metabolismo social mais interativa com os aspectos econômicos⁴.

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 (1999) e Krausmann et al. (2017b) 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. 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.

São conhecidas ferramentas diversificadas para mensuração do MSE e seus respectivos fluxos (matérias, energias, substâncias etc.), variando conforme o âmbito de análise (Quadro 1). Entretanto, os processos de contabilização tendem a seguir um padrão semelhante.

Os levantamentos bibliográficos confirmam que as análises materiais e energéticas tendem a ser as mais utilizadas. É destacável o Human Appropriation of Net Primary Production (HANNP), o qual possibilita a caracterização de perfis metabólicos, estimando a fração de produção apropriada pelos seres humanos em comparação aos remanentes dos ecossistemas, cumprindo importantes funções ecológicas.

Também ressaltada por Infante-Amate e Toledo (2017), o MUSIASSEM (Análise Integrada Multi-Escala do Metabolismo Social e Ecosistêmico), desenvolvido por Giampietro et al. (2011) que considera fluxos, escalas (demográficas, econômicas, geométricas), e outras variáveis e as inter-relações entre elas. Em síntese, integra os conceitos de disciplinas variadas (como a termodinâmica do não equilíbrio) aplicadas a análise ecológica, cujo objetivo é detectar e analisar padrões no uso de recursos e o que eles criam no ambiente, com aplicabilidade em várias áreas do conhecimento, inclusive o MSE.

Quadro 1 - Metodologias utilizadas em estudos metabólicos socioeconômicos.

NÍVEL DE ANÁLISE	METODOLOGIA
Análises Energéticas	Contabilidade fluxo de energia (EFA) Balanços de Energia EROI (Energy Return on Investment) MuSIASEM Análise do Ciclo de Vida (LCA)
Análise de Materiais	Contabilidade de Fluxos materiais (CFA) Human Appropriation of Net Primary Production (HANNP) Entrada de Materiais por unidade de serviços (MIPS)
Substâncias	Contabilidade de Fluxo de substâncias (SFA)
Território	Pegada Ecológica Terra Virtual LACAs (Land Cost of Agrarian Sustainability)
Outros	Balanços de carbono Água virtual Metabolismo hídrico Balanços de nutrientes

Fonte: Infante-Amate e Toledo (2017).

⁴ Autores como Fischer-Kowalski (1998, 1999) consideram os termos social, socioeconômico e industrial como sinônimos.

Outra abordagem comumente utilizada são cálculos de fluxos energéticos em níveis nacionais ou subnacionais, incluindo as relações historicamente mutantes entre uso energético exossomático e endossomático⁵, denominada EROI (energia retornada na energia investida), que busca identificar tendências de aumento no custo energético para obtenção de energia.

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)⁶. 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 econômicas. Para 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.

Quadro 2 - Indicadores econômicos advindos da análise de fluxo de materiais.

TIPO	SIGLA*	NOME E IDENTIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
Entradas (Input)	DE	Extração doméstica	Uso socioeconômico de materiais extraídos domesticamente
	DMI	Entrada Direta de Material (DE+ material importado)	Materiais que entram na produção nacional e no processo produtivo
Trocias comerciais	PTB	Balança comercial (Exportação-Importação)**	Balança comercial física
	RMEexport. e RMEimport.	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)

Fonte: Krausmann *et al.* (2017). * As siglas refletem a nomenclatura em inglês.

Os itens apresentados na tabela anterior utilizam variáveis básicas para sua construção, subdividindo-os em quatro grupos de materiais:

1. Biomassa: corresponde a produção para a produção humana, pastagens, silvicultura e pesca.
2. Combustíveis fósseis: Derivados do Petróleo, gás natural e carvão.
3. Minerais metálicos: Corresponde a classe de minerais metálicos, como ferro, alumínio e cobre.
4. Minerais não metálicos: que não contém metal em sua composição, a exemplo dos componentes utilizados na indústria e construção civil.

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) compreende 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. entrada de material no sistema deve sempre igualar a saída, considerando também as mudanças de estoque material (KRAUSMANN et al., 2017b; HABERL et al., 2019).

Os indicadores de fluxo de material são definidos como medidas quantitativas (Quadro 2 acima), que apontam, informam e descrevem as características dos fluxos e uso de recursos materiais. 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.

MSE e Economia Ecológica

⁵ Conforme Giampietro et al. (2013).

⁶ Ou ainda MEFA (*material and energy flow analysis*).

Após uma apresentação mais detalhada sobre MSE, é conveniente refletir sobre a convergência entre esta abordagem e a EE. Como já mencionado, a EE pretende ser 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.

Partindo, pois, do reconhecimento de que existem inexoráveis e 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. Georgescu-Roegen, como já mencionado na seção anterior, foi o autor da teoria econômica que mais enfatizou os perigos de uma análise puramente econômica sem se levar em conta a realidade física da dinâmica socioeconômica⁷.

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 e os problemas de escala, respaldada nas obras de Georgescu-Roegen (1971; 2017). Para o autor supracitado, a noção de sistema aberto é mais factível, e encontra respaldo na termodinâmica, mais precisamente com os princípios da entropia.

Enquanto os estoques de itens naturais apresentavam certa abundância, não era “problema destruí-los”, ou irrelevante é considerá-los no processo produtivo. Todavia, a busca de maior satisfação humana e eficiência econômica implicam em uso intensivo de recursos, o que implica em problemas socioambientais, visto que a emissão de dejetos

além da atmosfera terrestre ainda não economicamente viável.

Ademais, Georgescu era cético ao estado estacionário (proposto por H. Daly), ou seja, economias (mesmo as mais ricas) que apresentassem crescimento zero, decrescimento e níveis de equilíbrio entre Taxas de nascimento iguais a taxas de mortalidade, bem como poupança/investimento igual a depreciação. Nesse sentido, o autor conclui que o decrescimento no sistema capitalista seria viável com cerceamento dos combustíveis fósseis e outros materiais (CECHIN, 2008; MARTINEZ ALIER, 2015)

Mas onde emerge a compenetração entre o pensamento de Georgescu-Roegen e a economia ecológica?

Além da própria noção de sistema aberto, fundamental para entendermos a economia como um subsistema da ecosfera, a existência do MSE está atrelada aos fluxos de matéria e energia, que dificilmente teriam uma visão econômica tão significativa sem a visão do matemático romeno, e sua defesa em uma ciência da economia que estude os “fluxos metabólicos” da atividade-econômica.

Ademais, parte da viabilização de estudos concretos sobre desmaterialização está intimamente ligada as concepções de sistemas abertos e entropia e a MSE é quem melhor oferece referencial metodológico e consequentemente, base de dados para tal análise.

O Fluxo de materiais no Brasil

Dentre os indicadores de fluxo de materiais mais utilizados (conforme quadro 2), destacam-se os de entrada doméstica (ED), entrada direta de material (DMI) e consumo de material doméstico (DMC). Tais informações podem ser calculadas para distintos segmentos, como países, estados e municípios, etc.

Os dados de ED brasileiro (gráfico 1) demonstram uma tendência de crescimento entre 1970 a 2016, com destaque para a biomassa. Ademais, após estabilização econômica, ocorrida na segunda metade da década 1990, houve uma expansão extrativista, saindo de 2,0 (dois) para 4,0 (quatro) bilhões de toneladas.

⁷ É também creditado ao autor notórias contribuições para a ciência econômica neoclássica (como texto de 1966), na busca por uma abordagem mais realista da

teoria microeconômica, que o levou a ser chamado de “economista dos economistas”, em prefácio escrito pelo primeiro prêmio Nobel de Economia, Paul Samuelson.

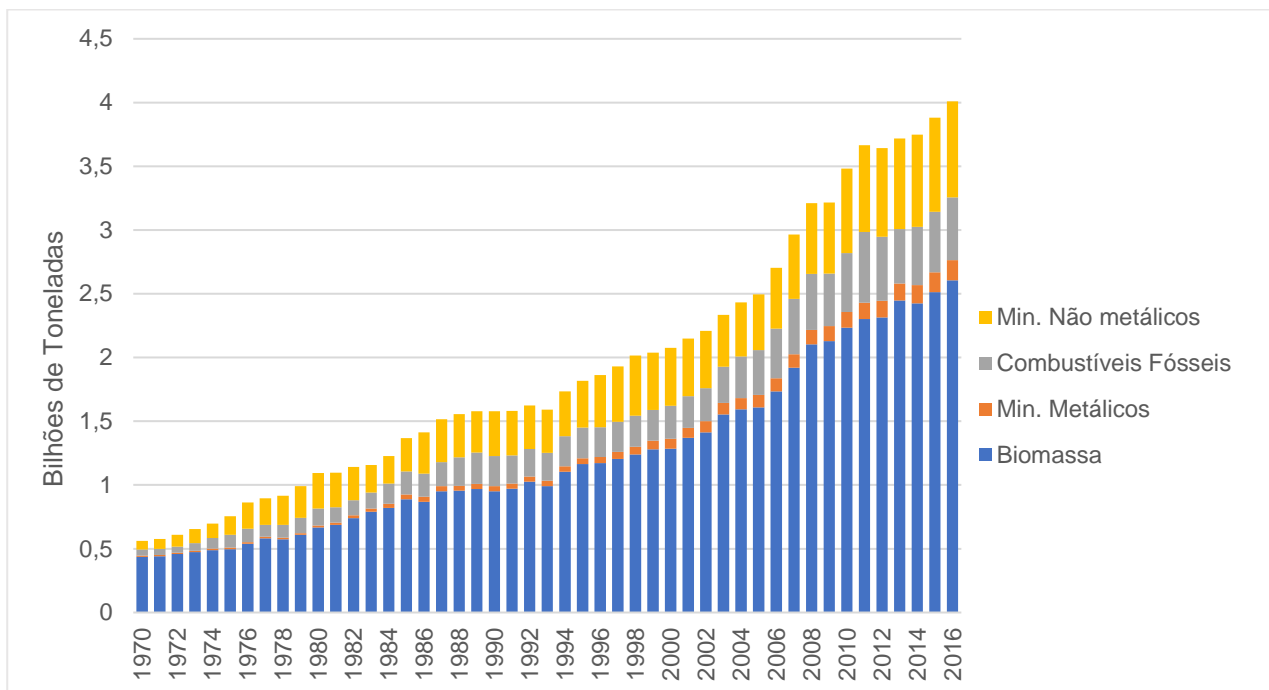


Gráfico 1 - Extração doméstica (DE) no Brasil (1970-2016). Fonte: materialflows.net. (Dados organizados pelos autores).

No que se refere aos materiais que efetivamente entram em solo brasileiro e são utilizados na produção (gráfico 2), se observa uma tendência semelhante a extração doméstica, tanto a expansão durante a série demonstrada, quanto na participação dos agregados. O destaque da extração na biomassa é explicado pela autossuficiência brasileira. Existe uma relativa dependência em relação a minerais não metálicos, fato

demonstrado pelo anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos (2017), cujo crescimento no consumo de cimento e cerâmicas de revestimento apresentaram tendência crescente até 2014 (segundo de queda, dada a desaceleração econômica brasileira desde então), com participação efetiva nas importações, totalizando 6,6 bilhões de dólares em 2016.

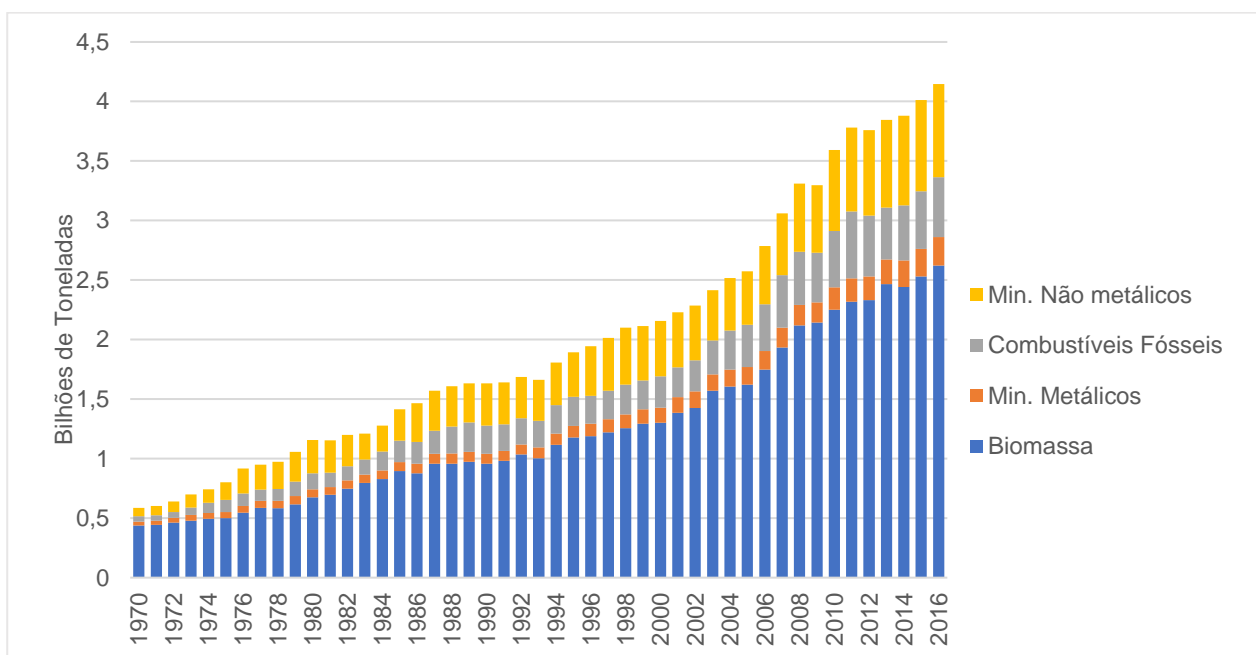


Gráfico 2 - Entrada Direta de Material (DMI) no Brasil (1970-2016). Fonte: materialflows.net. (Dados organizados pelos autores).

Já o DMC brasileiro, que considera a balança comercial brasileira, também apresenta um ciclo crescente, como verificado na tabela 3. Entre 1970 a 2016, o consumo de biomassa triplicou, de 4,3 milhões de toneladas, para 2,43 bilhões em 2016. O impulso de materiais não metálicos foi impulsionado a partir dos últimos

anos da década de 70, saindo de 0,7 para 7,7 milhões de toneladas. Combustíveis fósseis e minerais e minerais metálicos também apresentam crescimento no período, mas sentem os efeitos da desaceleração econômica brasileira.

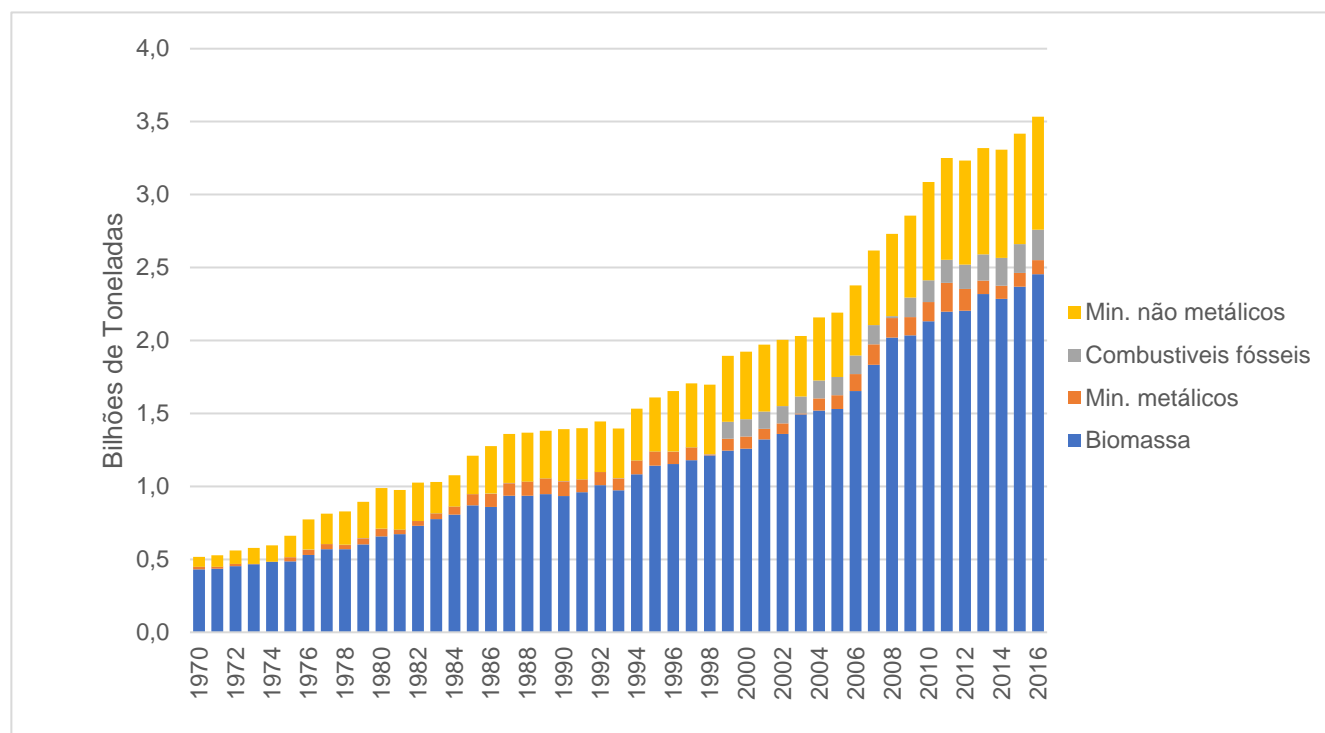


Gráfico 3 - Consumo de material doméstico (DMC) no Brasil (1970-2016). Fonte: materialflows.net. (Dados organizados pelos autores).

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 parar na natureza.

Ao considerar os fluxos de energia e materiais, mensurando-os, o MSE fornece respostas mais precisas à noção de sistema aberto proposta pela economia ecológica, quantificando os fluxos de energias, materiais e resíduos que compõe o uso do ecossistema terrestre, ou seja, a natureza como receptora dos impactos gerados pelo sistema econômico.

Como destaca Haberl et al. (2019) a abordagem do MSE oferece insights, e implicações de sustentabilidade em diferentes ângulos, combinando dados ecológicos e econômicos. Não obstante, 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 as 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.

Diante dos desafios enfrentados na economia ecológica no tocante a uma mensuração realista da escala, tem-se concordado na relevância metodológica no MSE, visto que é crescente os trabalhos acadêmicos que utilizam a metodologia, tanto na construção de novos indicadores, como aplicação dos já existentes para análises distintas, tais como: perfis metabólicos (urbanos, rurais, industriais macroeconômicos, etc.), “pegadas ecológicas”, dentre outros índices de (in) sustentabilidade, etc.

Por fim, os indicadores selecionados para o Brasil demonstram um crescimento no fluxo de matéria e energia. Nesse contexto, outros estudos podem esclarecer quais benefícios econômicos foram resultantes da extração de matéria e energia.

REFERÊNCIAS

- ARROW, K.; BOLIN, B.; COSTANZA, R.; DASGUPTA, P.; FOLKE, C.; HOLLING, C. S.; PIMENTEL, D. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological economics*, v. 2 n. 15, p. 91-95, 1995.
- CARPINTERO, O. El metabolismo económico regional español. Madrid: FUHEM Ecosocial, 2015.
- CECHIN, A. D. Georgescu-Roegen e o desenvolvimento sustentável: diálogo ou anátema? Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade de São Paulo, SP, 2008.
- DALY, H. E. On economics as a life science. *Journal of political economy*, v. 3, n. 76, p. 392-406, 1968.
- DALY, H.; FARLEY, J. *Economia Ecológica: princípios e aplicações*. Lisboa: Instituto Piaget, 2004.
- DALY, H. E. *Ecological economics and sustainable development*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2007.
- DE MOLINA, M. G.; TOLEDO, V. M. *Metabolismos, naturaleza e historia: hacia una teoría de las transformaciones socioecológicas*. Barcelona: Icaria, 2011.
- EHRlich, P. R. The population bomb, 1978. Disponível em: http://125.22.40.134:8082/jspui/bitstream/123456789/3161/1/2%20%20Ehrlich%20The_Population_Bomb.pdf > Acesso em: 20 de outubro de 2019.
- ERKMAN, S. Industrial ecology: a new perspective on the future of the industrial system. *Swiss medical weekly*, v. 131, n. 37-38, p. 531-538, 2001.
- FISCHER-KOWALSKI, M. Society's Metabolism. The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part I, 1860-1970. *Journal of Industrial Ecology*, v. 2, n. 4, p. 107-136, 1998.
- FISCHER-KOWALSKI, M.; HÜTTLER, W. Society's Metabolism: The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998. *Journal of industrial ecology*, v. 2, n. 4, p. 107-136, 1998.
- FISCHER-KOWALSKI, M.; HABERL, H. Sustainable development. Long-term changes in socio-economic metabolism and colonization of nature. *International Social Science Journal*, v. 4, n. 158, p. 573-587, 1998.
- FISCHER-KOWALSKI, M.; HABERL, H. Social metabolism: a metric for biophysical growth and degrowth. *Handbook of ecological economics*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2015.
- FISCHER-KOWALSKI, M.; WEISZ, H. Society as a hybrid between material and symbolic realms. Toward a theoretical framework of society-nature interaction. *Advances in human ecology*, v. 8, p. 215-252, 1999.
- FOSTER, J. B. *Marxismo e Ecologia: fontes comuns de uma Grande Transição*. *Lutas Sociais*, v. 19, n. 35, p. 81-97, 2015.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. *The entropy law and the economic process*. Cambridge: Harvard University Press, 1971.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. *Bioeconomía: Una Nueva Mirada A La Naturaleza de la Actividad Económica*. *Revista De Economía Crítica*, v. 23, p. 152-168, 2017.
- GIAMPIETRO, M.; MAYUMI, K. M. e.; SORMAN A. H. *Energy Analysis for a Sustainable Future: Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism*. London: Routledge, 2013.
- HABERL, H.; WIEDENHOFER, D.; PAULIUK, S.; KRAUSMANN, F.; MÜLLER, D. B.; FISCHER-KOWALSKI, M. Contributions of sociometabolic research to sustainability science. *Nature Sustainability*, v. 2, n. 3, p. 173-184, 2019.
- HABERL, H.; FISCHER-KOWALSKI, M.; KRAUSMANN, F.; WINIWARTER, V. *Social ecology: society-nature relations across time*. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- HARDIN, G. The tragedy of the commons. *science*, v. 162, n.3859, p. 1243-1248, 1968.
- KRAUSMANN, F.; SCHANDL, H.; EISENMENGER, N.; JACKSON, S. G. T. *Material Flow Accounting: Measuring Global Material Use for Sustainable Development*. *Annual Review of Environment and Resources* v. 42, n.1, p. 647-675, 2017.
- MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. H.; Randers, J.; BEHRENS III, W. W. *The limits to growth: a report to the club of Rome*. New York: Universe Books, 1972.
- NOBRE, M.; AMAZONAS, M. DE C. *Desenvolvimento sustentável: a institucionalização de um conceito*. Brasília: Edições Ibama, 2002.
- PURVES, W. K.; ORIAN, G. H.; HELLER H. C. *Life. The science of biology*. 3d ed. Sunderland: Sinauer, 1992.
- TOLEDO, V. El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, v. 34, n.136, p. 41-71, 2013.