

Mabel Diz Marques¹
Raphael de Oliveira Silva²
Henrique Tomé da Costa Mata³

Meio ambiente, inovações tecnológicas e crescimento econômico: uma análise sob a perspectiva da economia ambiental e economia ecológica

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar de maneira introdutória o pensamento da economia ambiental e economia ecológica diante da dimensão ambiental do processo econômico e tecnológico, os marcos institucionais, fundamentos teóricos e metodológicos, geralmente subentendidos. Descreve-se, portanto: i) a economia ambiental e as duas ramificações principais, quais sejam: economia da poluição e economia dos recursos naturais, ii) a economia ecológica, corrente de estudos transdisciplinar que busca evidenciar o enfrentamento entre a expansão econômica e a conservação do meio ambiente; iii) a concepção da sustentabilidade sob as distintas visões em análise.

Palavras-chave

Economia Ambiental; Economia Ecológica; Inovações Tecnológicas.

ABSTRACT

This article seeks to introduce readers to the concepts of the environmental economy and the ecological economy in view of the environmental dimension of the economic and technological process, the institutional frameworks and the theoretical and methodological fundamentals that are generally accepted. It therefore outlines: i) the environmental economy and its two main ramifications, which are: the pollution economy and the natural resources economy; ii) the ecological economy, a current of transdisciplinary studies that seeks to provide evidence of the face-off between economic expansion and the preservation of the environment; and iii) the concept of sustainability from the perspective of the different views under analysis.

Key-words

Environmental Economy; Ecological Economy; Technological Innovation

JEL Classification: Q50; Q55; Q57.

1. Doutoranda em Economia pela Universidade Federal da Bahia (2018-2021). Mestra em Economia Aplicada pela Universidade Federal de São Carlos (2017). Graduada em Ciências Econômicas pela Universidade Federal da Bahia (2015). Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5227-6469>.
2. Doutorando em Economia pela Universidade Federal da Bahia. Mestre em Economia Aplicada pela Universidade Federal de São Carlos (2017) e graduado em Ciências Econômicas pela Universidade Federal Fluminense (2014). Atual pesquisador associado da Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais (Dirur) do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e membro do Núcleo de Economia Política da UFF (NEP-UFF).
3. Doutor em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa (2001). Mestre em Ciências Florestais, na área de Economia Florestal, pela Universidade Federal de Viçosa (1993). Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1990), licenciado em Ciências Agrícolas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1990), com especialização na área de Administração Rural. Atualmente é professor Associado II e diretor da Faculdade de Economia da Universidade Federal da Bahia.

1. Introdução

Durante as últimas décadas a questão ambiental tem atraído um número crescente de economistas que não mediram esforços para desenvolver um instrumental analítico, operacional, teórico e prático para propor uma relação mais harmônica entre o meio ambiente e o sistema econômico. Isso se deve, entre outras explicações, à crescente consciência e reconhecimento do papel significativo que o meio ambiente desempenha no processo produtivo, pois seria impossível para os seres humanos satisfazerem suas necessidades sem interagir com o meio ambiente.

Acontece que a magnitude dessas interações tem se ampliado rapidamente, fundamentadas nas necessidades e anseios de crescimento econômico dos países a fim de atingir um determinado nível de desenvolvimento, ascendendo, por consequência, o debate sobre os impactos ambientais do crescimento econômico. A partir desta análise surgiram no século XX duas correntes principais que buscam interpretar a relação entre o meio ambiente e o sistema econômico: economia ambiental e economia ecológica.

Institucionalmente, pode-se dizer que uma parte das origens da Economia Ambiental remonta ao início do século XX, com base na Economia do Bem-Estar, da qual a obra de Arthur Cecil Pigou, *The Economics of Welfare*, é o trabalho fundador. Já a Economia Ecológica data seu estabelecimento a partir da Sociedade Internacional de Economia Ecológica (ISEE), em 1989, buscando estabelecer uma interação entre o sistema econômico e ecológico de forma transdisciplinar.

Nesse sentido, este artigo tem como objetivo apresentar, em caráter introdutório, a relação entre a economia e o meio ambiente sob a concepção da economia ambiental e da economia ecológica, levando em consideração e ressaltando os marcos institucionais e os fundamentos teóricos e metodológicos. Além disso, busca apresentar o papel das inovações tecnológicas como uma “possível forma de mitigar” a relação conturbada entre a degradação ambiental e o crescimento econômico, padrões (in)sustentáveis do uso do meio ambiente, bem como a racionalidade do progresso econômico (in)sustentável.

O artigo está estruturado em cinco seções, sendo a primeira esta breve introdução. A segunda é destinada a apresentar características e fundamentos que constituem a economia ambiental em suas ramificações. Faz-se ainda uma elucidação da relação entre degradação ambiental e o crescimento econômico, incorporando os

elementos da curva de Kuznetz ambiental, uma vez que, para esta corrente, quando os países atingem um determinado grau de desenvolvimento eles buscam padrões ambientais mais sustentáveis, substituindo as tecnologias mais poluentes, e contribuindo para redução dos níveis de degradação ambiental. A terceira seção apresenta a visão da economia ecológica revelando-a como um *approach* metodológico pluralista e não mecanicista que busca incorporar variáveis ecológicas e físicas não contempladas no esquema analítico convencional dos modelos econômicos. Na quinta seção é exposta a questão da sustentabilidade e suas gradações, bem como um olhar sobre a natureza como “capital natural” lançando-o como um dispositivo de valoração econômica demarcado por uma unidade monetária. Por fim, são apresentadas as considerações finais.

2. Economia ambiental e sua visão otimista das tecnologias

A economia ambiental surge no século XX a partir do momento em que o *mainstream economic* se viu pressionado a incorporar em seu arcabouço analítico considerações acerca dos recursos ambientais. Inicialmente, esses recursos sequer apareciam em suas representações analíticas e econômicas, como, por exemplo, na especificação de função de produção que elucidavam (apenas) os fatores: capital e trabalho, pois, até então, os recursos ambientais não representavam no longo prazo limites absolutos à expansão econômica, uma vez que o progresso científico e tecnológico reduziria essa restrição (ROMEIRO, 2003; ROCHA, 2004; ANDRADE, 2008).

Nesse contexto, a economia ambiental consolida-se como uma corrente de pensamento econômico, com motivação central em internalizar custos ambientais a fim de obter preços que reflitam custos de oportunidade sociais marginais completos de mercado e avaliar a disponibilidade e o uso dos recursos pela valoração ambiental. Assim, há duas principais abordagens teóricas: economia da poluição e economia dos recursos naturais.

A economia da poluição busca compreender, majoritariamente, os *outputs* indesejáveis e resíduos advindos dos processos produtivos. Seus pressupostos teóricos são fundamentados, sobretudo, na teoria do bem-estar, desenvolvida a partir do trabalho

seminal *The Economics of Welfare*, de Arthur Cecil Pigou, em 1920. Já a economia dos recursos naturais trata dos *inputs* naturais para os processos produtivos. Essa vertente busca encontrar o nível ótimo de exploração dos recursos naturais (renováveis e não renováveis), bem como compreender os limites de exploração ao longo do tempo (MORO, 2014).

Nota-se desde já que a agenda metodológica da economia ambiental se impôs quase como um critério de demarcação e apropriação de conceitos derivadas da corrente neoclássica, tais como: o problema da escassez, individualismo metodológico, utilidade, preferências, equilíbrio e eficiência (AGÜERO, 1996). Contudo, quando as condições necessárias para eficiência não são satisfeitas, observam-se falhas e ineficiências de mercados, expressas em externalidades da produção (poluição e resíduos).

Segundo Hussen (2004) e Helfand, Berck e Maull (2003) uma das formas de corrigir tais externalidades ocorre pelos artifícios de controle da poluição, através de políticas de *comando e controle* (fixação de padrões da qualidade ambiental) que impõem um limite de emissões, requisito de determinada tecnologia, ou mediante políticas econômicas⁴ com ênfase em *mecanismos de mercado* baseadas, sobretudo, na valoração ambiental que proporcionam maior flexibilidade aos poluidores.

Do ponto de vista prático, a abordagem baseada no mercado frequentemente atinge um nível específico de emissões com custos mais baixos do que fixação de padrões da qualidade ambiental, mas sua eficiência pode não se sustentar devido às dificuldades na mensuração e diferenciação dos danos por fonte ou até mesmo pelas distorções dos mercados preexistentes.

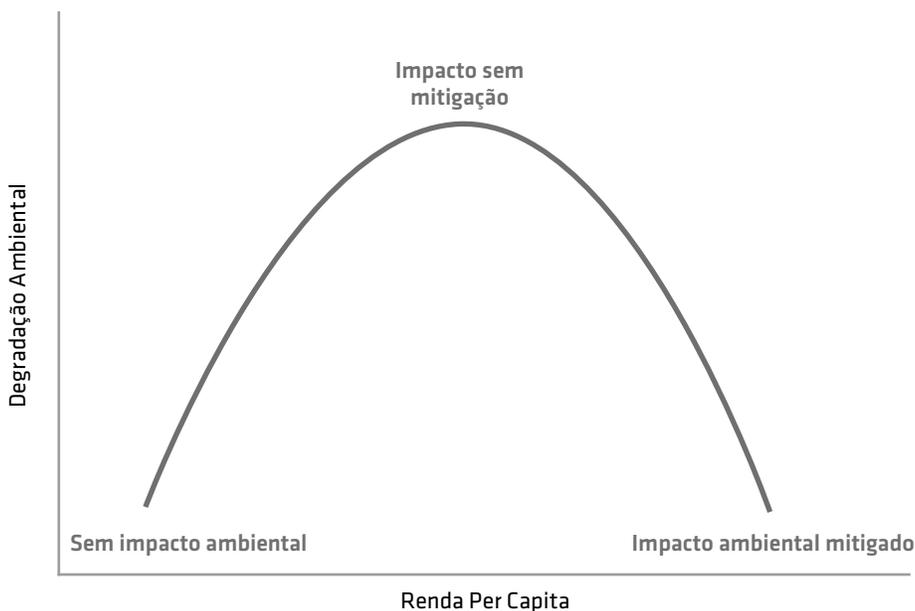
Ao buscar estabelecer uma relação entre as degradações ambientais e o crescimento econômico, a economia ambiental incorpora o conceito da curva de Kuznets. Em sua versão original, Kuznets (1955) busca compreender a distribuição da renda (*per capita*) ao longo do crescimento econômico, bem como os fatores que determinam a tendência do nível de desigualdade de renda, a partir dos dados dos Estados Unidos, Inglaterra e Alemanha. O autor conclui que há uma incidência de desigualdade de renda nos primeiros estágios do crescimento econômico, contudo, a partir de um de-

4. Motta, Ruitenbeek e Huber (1996) sistematizam o uso de instrumentos econômicos na gestão ambiental da América Latina e Caribe.

terminado ponto há uma tendência particularmente notável da melhoria da distribuição de renda, dando origem a curva em “U invertido”.

Em sua versão ambiental (Curva de Kuznets Ambiental – EKC),⁵ a curva sugere que a degradação ambiental se eleva nos primeiros momentos do crescimento econômico, e, a partir de determinado ponto de expansão da renda *per capita*, a degradação ambiental reduz (Figura 1). A explicação para este fato é que nos estágios iniciais do crescimento econômico a degradação ambiental é aceita como um efeito colateral ruim, mas inevitável ao processo produtivo. Contudo, a partir de determinado ponto, fatores como aumento do nível educacional e de consciência ambiental, bem como sistemas políticos mais abertos e introdução de novas tecnologias, amorteceriam o processo anterior.

Figura 1 | Curva de Kuznets ambiental para emissões de enxofre



Fonte: Grossman; Krueger (1991).

5. O conceito EKC surgiu no início da década de 1990 com o estudo de Grossman e Krueger (1991) sobre os possíveis impactos do Nafta na economia, já a popularização do conceito EKC ocorreu por meio do Relatório do Banco Mundial sobre o Desenvolvimento de 1992.

No cerne dessa discussão e introduzindo o papel da tecnologia e das inovações tecnológicas, a economia ambiental compreende que o progresso técnico é capaz de mitigar as relações conturbadas entre as degradações ambientais e o crescimento econômico, além de ser uma aliada para o crescimento sustentável dos países (BARNETT; MORSE, 1963; MORO, 2014).

Essa concepção otimista do ponto de vista tecnológico advém da compreensão de que o acréscimo do uso de capital proveniente do progresso técnico substituiria a quantidade dos recursos naturais utilizados através do aumento de produtividade na utilização desses recursos. Por exemplo: para produzir um determinado produto, faz-se necessário utilizar uma proporção de uma unidade de capital e quatro unidades de recursos naturais (capital natural), mas quando aprimorada a eficiência na utilização do capital, passa-se a utilizar uma unidade de capital e duas de recursos naturais, de forma que, com o progresso técnico, a intensidade da utilização dos recursos naturais pode ser reduzida ao longo do tempo devido a curvas de aprendizado desenvolvido pelas novas tecnologias. Ou seja, para o mesmo volume de produção observa-se uma substituição entre os fatores de produção com maior intensidade do fator capital, dado o avanço tecnológico.

Seguindo esta perspectiva, Smulders, Bretschger e Egli (2011) buscam evidências empíricas sobre EKC a partir da interação entre o crescimento econômico e os problemas ambientais sob a ótica da teoria do crescimento endógeno e mudanças tecnológicas, num contexto do modelo “*quality leader*” de Grossman e Helpman (1991). De acordo com os autores, o declínio da poluição pode ser explicado por inovações endógenas, mudanças tecnológicas induzidas por políticas e transformações intrasetoriais. Além desses elementos, os autores ressaltam o papel do Estado e das regulações para garantir a preservação ambiental direcionando a economia para o uso de tecnologias mais limpas e onerando os processos produtivos mais poluentes.

Rocha, Khan e Lima (2013) buscam indícios da existência da curva em “U invertido” da EKC, a partir da emissão de poluentes e nível tecnológico de 102 países durante o período de 1960 a 2000 por meio da regressão em dados em painel. Os resultados são coerentes com a literatura da EKC e sugerem que, nos estágios iniciais do desenvolvimento, a adoção de tecnologias mais sujas pelas economias em desenvolvimento é essencial na geração do aprendizado e na trajetória futura de inovação. Além disso, indica que regulações ambientais nessas economias podem agravar o *gap*

tecnológico com as economias da fronteira tecnológica, pois as economias em desenvolvimento podem ainda não ter uma base tecnológica sólida e condições suficientes para inovar.

Portanto, sob a concepção da EKC da economia ambiental, quando um país atinge determinado nível de desenvolvimento, ele busca padrões ambientais mais sustentáveis, substituindo as tecnologias mais poluentes e contribuindo para a redução dos níveis de degradação ambiental. Logo, “essa interpretação permite dizer que o próprio desenvolvimento tecnológico leva ao aumento da produtividade e à utilização mais intensa de métodos produtivos menos nocivos ao meio ambiente” (ANDRADE, 2012, p. 9). Contudo, caso não ocorra uma mudança na estrutura econômica ou tecnológica, o crescimento puro na escala resulta no crescimento da poluição, encadeando outros impactos ambientais.

É importante ressaltar que, embora haja uma extensa lista de trabalhos sobre EKC (PANAYOTOU, 1993; STERN; COMMON; BARBIER, 1996), não há um consenso teórico sobre a sustentação empírica das suas relações (PERMAN; STERN, 2003; STERN, 2004; ANDRADE, 2012). Isto porque a concepção da EKC é um fenômeno essencialmente empírico, mas a maior parte da literatura sobre EKC é econometricamente fraca, pois a maioria dos estudos assume poucas considerações sobre adequação do modelo, como a possibilidade de vieses de variáveis omitidas.

Posto isso, pode-se mencionar três aspectos diante da concepção teórica da economia do meio ambiente. Primeiro, o uso de tecnologias pode possibilitar o aumento da eficiência na produção, minimizando custos e ampliando a produtividade com menos degradações. De outro modo, a concorrência de capitais estimula a inovação, que, por meio de novas tecnologias, consome menos recursos naturais. Segundo, como nas economias em desenvolvimento, em sua maioria não constituem mecanismos de produção de conhecimento para ampliar o aproveitamento dos recursos naturais, então, o seu crescimento econômico tende a degradar mais o meio ambiente. E o terceiro aspecto reside em que, embora haja instrumentos econômicos na gestão ambiental, existe ainda uma nítida lacuna na compreensão dos impactos dos fatores econômicos sobre os ecossistemas, degradação e qualidade ambiental. Esse fato está relacionado entre outros argumentos ao diminuto entendimento do ser humano em desenvolver análises integradas dos sistemas natural e econômico em uma perspectiva analítica e multidisciplinar.

3. Economia ecológica e a questão do crescimento econômico

A economia ecológica é um campo de estudos transdisciplinar que observa a economia como um subsistema de ecossistemas físico, global e finito. Os estudos inerentes a esse campo científico buscam evidenciar o enfrentamento “sem solução” entre a expansão econômica e a conservação do meio ambiente (MARTÍNEZ ALIER, 2015).

Em termos históricos, o processo de consolidação da economia ecológica ocorre a partir do trabalho seminal de Georgescu-Roegen em 1971, intitulado *The entropy law and economic process*, que buscou evidenciar que o crescimento econômico estava condicionado aos limites biofísicos da Terra. Em 1982, a ecóloga Ann Mari Jansson organizou uma reunião buscando discutir a integração da economia e da ecologia, nessa ocasião foi tomada a decisão de lançar a revista acadêmica *Ecological Economics*. Já em 1987, durante oficina realizada em Barcelona – mesmo ano que foi publicado o “Relatório de Brundtland” da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o desenvolvimento sustentável (WCED, 1987) –, foi deliberada a criação da International Society for Ecological Economics (ISEE), sendo esta fundada em 1989, ano que coincide com a primeira publicação da revista *Ecological Economics*, dirigida desde então por Robert Costanza.

No âmbito brasileiro, a Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, seção regional da ISEE, foi fundada em 1992 em meio às discussões da Eco-92 (ou Rio-92). De acordo com Andrade (2012), o momento em análise foi oportuno para divulgação mais sistemática das novas ideias expostas por esse ramo do conhecimento, uma vez que teve a legitimidade e presença de inúmeros chefes de Estado, demonstrando a importância da discussão da biodiversidade e mudanças ambientais já expostas desde a década de 1970.

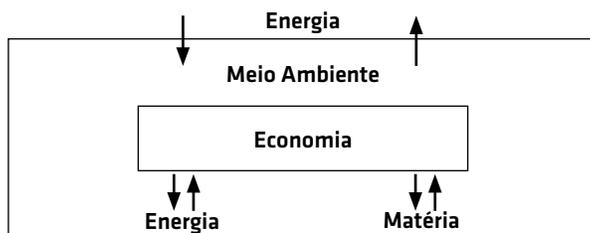
É nesse contexto que a economia ecológica busca disseminar e advogar que “os estudos dos conflitos ambientais não se reduzem a uma coletânea de episódios interessantes, mas, antes, constituem uma parte do estudo do enfrentamento em evolução entre economia e meio ambiente” (MARTÍNEZ ALIER, 2015, p. 45). Pois a economia ecológica possibilita, segundo o autor, uma visão sistêmica entre a economia e meio ambiente. Uma vez que a complexidade relacionada aos problemas ambientais não permite que esses sejam analisados exclusivamente por uma teoria (econômica; neoclássica), se não pela integração de diversas perspectivas analíticas e multidisciplinaridade.

De acordo com Costanza *et al* (1991), ao ser analisada como multi e transdisciplinar, a economia ecológica vai além das conceituações normais das disciplinas científicas, tentando sintetizar perspectivas disciplinares diferentes e integrando conceitos das ciências econômicas, sociais, políticas e naturais. Contudo, sem a existência de uma concepção de precedência ou hierarquia intelectual de uma disciplina sobre a outra, pois no mundo real os problemas concretos são multidimensionais; como o caso dos problemas socioambientais, que são distintos da abordagem estritamente acadêmica.

Ainda como aponta Andrade (2012), ao tentar adotar um *approach* metodológico pluralista e não mecanicista, a economia ecológica busca incorporar variáveis ecológicas e físicas não contempladas no esquema analítico convencional dos modelos econômicos e ecológicos.⁶ Pois, a economia ecológica busca “englobar e transcender esses limites disciplinares e vê a economia humana como parte de um todo superior, já que o domínio é a totalidade da rede de interações entre os setores econômicos e ecológicos” (COSTANZA, 1994; CAVALCANTI, 2010).

Esta concepção teórico-metodológica, portanto, difere daquela propagada pela ecologia convencional dominante que desvincula as intervenções humanas nos estudos dos ecossistemas naturais. Além disso, a economia ecológica, difere da economia ambiental ao apontar a existência das trocas de matéria e energia entre o sistema econômico e o meio ambiente. Ou seja, a análise do sistema econômico não pode desconsiderar os fundamentos biofísicos e ecológicos que regulam o sistema natural que sustenta e fornece matéria e energia para o sistema econômico (COSTANZA; DALY, 1987; ANDRADE, 2012). A Figura 2 diz respeito a este sistema de interesse.

Figura 2 | A economia no meio ambiente



Fonte: Common; Stagl (2005).

6. Enquanto a economia (ciência econômica) convencional trata apenas da espécie humana, esquecendo todas as outras, a ecologia convencional estuda todas as espécies, menos a humana” (CAVALCANTI, 2010, p. 60).

Ao analisar a Figura 2, nota-se que a economia sob a perspectiva da economia ecológica é analisada como um sistema único global, e o meio ambiente é o ambiente natural, ou seja, o planeta Terra. A economia se localiza dentro do ambiente e troca energia e matéria com ele, ao ganhar vida, os seres humanos extraem vários recursos do meio ambiente, tais como: petróleo, ferro, madeira, entre outros. Em contrapartida, são depositados no meio ambiente resíduos provenientes da produção humana, tais como: dióxido de enxofre e dióxido de carbono na atmosfera. Nesse processo de troca, a atividade econômica envolve trocas de materiais e energia com o meio ambiente, portanto, seria impossível para os humanos satisfazerem suas necessidades sem interagir com o meio ambiente. Acontece que as necessidades humanas são ampliadas cada vez mais, devido ao caráter da racionalidade do sistema econômico atual, que busca incessantemente a expansão e a valorização do capital.

Segundo Daly (2004, p. 197), “à medida que o subsistema econômico cresce, ele incorpora uma proporção cada vez maior do ecossistema total e deve alcançar um limite a 100%, se não antes”, uma vez que as economias não buscam apenas crescer, mas sim crescer e acelerar exaustivamente sua expansão, pois o crescimento se tornou sinônimo de ampliação de riqueza material. Neste processo, o crescimento sustentável é impossível.

Antes de prosseguir é interessante observar que o conjunto de características do termo crescimento sustentável e desenvolvimento sustentável, mesmo sendo consistentes entre si, não são equivalentes. Enquanto o termo crescimento está intimamente relacionado à expansão material, o termo desenvolvimento está relacionado à melhoria qualitativa de uma base econômica. Porém, “o termo desenvolvimento sustentável é usado como um sinônimo para o oxímoro crescimento sustentável” (DALY, 2004, p. 198).

Nesse estágio, pode ser útil mencionar os questionamentos da sustentabilidade econômica devido aos impactos ambientais e as suas demandas energéticas e materiais, e igualmente devido ao crescimento demográfico. É preciso observar ainda que a economia ecológica tem apontado a incomensurabilidade dos processos energéticos, ecológicos e distributivos com a racionalidade econômica, bem como a impossibilidade de reduzir os valores da natureza, cultura e qualidade de vida à condição de mercado-ria simples, e os limites que impõem a lei da entropia⁷ sobre o crescimento econômico.

7. O conceito de entropia foi desenvolvido em termodinâmica e surge no século XIX com o objetivo de entender e aumentar a eficiência com a qual os motores a vapor executavam trabalhos úteis (BAUMGÄRTNER, 2003).

Conforme elucidado, foi Georgescu-Roegen (1971) que buscou analisar pioneiramente a relação das limitações biofísicas da Terra e sua relação com as atividades econômicas, mostrando que a abordagem convencional da produção, base das teorias do crescimento econômico, viola as leis da termodinâmica.⁸ A visão é termodinâmica porque qualquer atividade significa uma transformação de energia de como os seres humanos sobrevivem (convertendo comida, ou seja, energia química, em movimento, isto é, energia mecânica), em que a economia tem que se submeter, pois não há outra alternativa de sobrevivência (CAVALCANTI, 2010). Pautado nessa concepção, os fluxos materiais estariam sujeitos à primeira e à segunda lei da termodinâmica.

A primeira lei – da conservação – infere que o fluxo de energia total do universo, que é encontrada sob diversas formas, é invariante. Assim, a primeira lei reafirma que a base material sobre a qual o sistema econômico se reproduz é finita, não sendo plausível, portanto, a sua expansão contínua. Já a segunda lei – da entropia – confere que a energia disponível sofre um processo de irreversível mudança de um estado disponível para um estado indisponível, pois, mesmo que a energia seja invariante, a sua utilização pelos seres humanos e animais produz depreciação constante da sua qualidade, porque uma parte da energia é transformada em calor e dissipada no meio ambiente, tornando indisponível para o uso futuro (HINRICHS; KLEINBACH, 2003; BAUMGÄRTNER, 2003; ANDRADE, 2012; CECHIN; VEIGA, 2010).

Assim, a essência da Lei da Entropia é que a degradação da energia tende a um máximo em sistema isolado, e que tal processo é irreversível. O que ela significa em termos de possibilidade de produção? Primeiro, que a quantidade de matéria e energia incorporada nos bens finais é menor que aquela incorporada nos recursos utilizados na sua produção. Desse modo, uma parcela da energia e da matéria de baixa entropia utilizada no processo de produção é transformada imediatamente em resíduo. Isso se traduz, em termos práticos, que a eficiência produtiva não pode ser alcançada em sua completude. No entanto, a quantidade de baixa entropia que é desperdiçada imediatamente depende do estado da tecnologia de produção em um dado momento, avanços na tecnologia de produção significam que o desperdício pode ser mitigado, com maior proporção de material e energia de baixa entropia incorporada

8. A termodinâmica é o ramo da física que estuda as relações entre calor e trabalho.

nos bens finais. Até que se chegue ao limite termodinâmico, há um potencial para que mais bens possam ser produzidos a partir de uma mesma quantidade de recursos energéticos e materiais.

Ademais, muito embora Georgescu-Roegen (1971) admita que o sistema econômico aberto está inserido no ecossistema terrestre finito, não crescente e materialmente fechado, o sistema sofre os efeitos do processo de aumento de entropia. Segundo o autor, com a incorporação da energia de baixa entropia proveniente do sol ao emprego do capital energético da terra, obtém-se o aumento de entropia de todo sistema.

Dessa forma, o condicionamento ecológico e termodinâmico de todos os processos produtivos não é apenas um problema teórico, se não uma manifestação visível da realidade, dadas as taxas crescentes de destruição ecológica (degradação de ecossistemas complexos dos quais depende a conservação da biodiversidade e regeneração de recursos renováveis a partir da energia solar, fonte de energia limpa); a poluição (produção de resíduos que excede a capacidade de diluição de ecossistemas terrestres, aéreos e aquáticos); e a degradação de matéria e energia manifestada no aquecimento global do planeta (LEFF, 2004).

Acrescenta-se ainda ao questionamento da sustentabilidade a ideia do *lock-in* tecnológico e social existente nas distintas economias, além do caráter fechado e fixo, não apenas das tecnologias como também dos hábitos de consumo e dos padrões de povoamentos humanos, que os tornam difíceis de desvincular do crescimento econômico, visto que a ampliação dos fluxos energéticos e de materiais, dado o padrão de produção e consumo da economia contemporânea, requer o fornecimento de materiais de forma constante e crescente (MARTÍNEZ ALIER, 2015).

Vale destacar que as inovações tecnológicas aqui mencionadas podem ser empregadas de duas maneiras possíveis: (i) fornecendo um melhor padrão de vida para os indivíduos, enquanto mantêm o mesmo nível inicial da taxa de consumo de recursos naturais; e/ou (ii) reduzindo a degradação ambiental ligada à taxa de consumo de recursos naturais, mantendo o mesmo nível inicial. Contudo, o padrão de escolha dos seres humanos converge para a primeira possibilidade, sem reduzir a pressão sobre o meio ambiente (MAYUMI; GIANPIETRO; GOWDY, 1998).

Nesse contexto, ao buscar analisar o papel das tecnologias e sua relação com o crescimento econômico, a visão da economia ecológica não é tão otimista como pro-

pagada pela abordagem da economia ambiental, dado que o crescimento econômico está condicionado aos limites biofísicos da Terra, e o progresso técnico não é capaz de romper com as barreiras impostas por tais limites (GEORGESCU-ROEGEN, 1971; COSTANZA *et al.*, 1994).

Concomitantemente, observa-se que as incertezas tecnológicas não podem ser gerenciadas nos termos de um mercado de seguros voltado para o cálculo de probabilidade dos riscos. “Ao invés de oportunidades para que todos ganhem economicamente e ambientalmente com soluções do tipo *win-win*, o que vez por outra vemos acontecer são fiascos nos quais todos perdem” (MARTÍNEZ ALIER, 2015, p. 43). Além disso, em grande parte observa-se que as tecnologias desenvolvidas ao longo do processo econômico, especialmente pós-Revolução Industrial, carregam consigo componentes poluidores intensivos aos recursos naturais, utilização de materiais tóxicos e problemas ambientais em escala global, uma vez que as tecnologias não são neutras e têm um forte componente ideológico da racionalidade do crescimento econômico.

Da exposição anterior é possível perceber que não existe uma solução puramente tecnológica para uma economia com crescimento sustentável, se não construir outra racionalidade produtiva que permita o equilíbrio entre a produção de biomassa entrópica a partir da fotossíntese e a transformação dos recursos finitos do planeta, além de questionar a capacidade de acalmar e desconstruir a economia e de internalizar condições de sustentabilidade ecológica. Portanto, não é um problema de adaptação de ritmos e escalas, mas sim de uma mudança da estrutura e construção de uma nova racionalidade (LEFF, 2004).

Nessa perspectiva, não apenas o crescimento econômico sustentável é impossível como também uma economia de estado estável⁹ como proposto por Daly (1993), dado que o sistema econômico baseado na rentabilidade de curto prazo e regido pelos princípios da racionalidade econômica só pode funcionar como um processo cumulativo e expansivo, alimentando de estoques e aumentando os fluxos de matéria e energia dos ecossistemas locais e da ecosfera global do planeta, portanto, insustentável a longo prazo.

9. Embora, seja uma estratégia para prolongar a permanência da espécie humana, mesmo que tenha um caráter apenas transitório (CECHIN; VEIGA, 2009).

Dentro da estrutura da racionalidade econômica dos modos de produção atual, a única saída possível, segundo Leff (2004), seria uma estratégia de decrescimento. Vale salientar que essa estratégia não se trata de preconizar o decrescimento pelo decrescimento, mas

ênfaticamente o abandono do objetivo do crescimento ilimitado, objetivo cujo o motor não é outro senão a busca por parte dos detentores do capital, com consequências desastrosas para o meio ambiente e, portanto, para a humanidade. Não só a sociedade fica condenada a não ser mais do que o instrumento ou o meio da mecânica produtiva, mas o próprio homem tende a se transformar no refúgio de um sistema que visa a torná-lo inútil e prescindir dele. (LATOUCHE, 2009, p. 4).

Assim, dada a limitação material da terra e a escassez dos recursos, o processo inevitável do decrescimento deveria iniciar-se voluntariamente, pois “quanto mais cedo ocorrer, maior será a sobrevivência da atividade econômica e da espécie humana” (CECHIN; VEIGA, 2009, p. 27). Logo, para alcançar uma sustentabilidade ecológica, é provável que seja necessário modificar as preferências de consumo e técnicas de produção que, embora possam ser eficientes em termos econômicos, ameaçam a resiliência ecológica dos sistemas.

Segundo Harris (2003), a resiliência ecológica dos sistemas, conforme mencionada, diz respeito à capacidade de recuperação com que o ecossistema responde as perturbações e danos ambientais, sendo a chave desse processo a existência e grande variedade de espécies, interagindo entre si e abastecendo um reservatório de formas genéticas que fornecem o potencial para se adaptar às condições de mudanças.

De um ponto de vista muito geral, podemos concluir que uma economia sustentável necessariamente precisaria incorporar os fluxos dos sistemas de produção (energia e matéria) e fluxos comerciais (produtos e serviços) na contabilidade econômica, tal como proposto pela noção da pegada ecológica (índice de [in]sustentabilidade com fins didáticos) (PORTO; MARTÍNEZ ALIER, 2007). Além disso, para garantir a sustentabilidade dos sistemas (econômicos e ecológicos) haverá a necessidade de traçar objetivos locais e de curto prazo consistentes com os objetivos globais e de longo prazo com a sustentabilidade e a qualidade de vida mundial com a participação de atores sociais.

4. Substituibilidade, sustentabilidade e suas graduações

Ao reconhecer a sustentabilidade enquanto processo fundamental para trilhar a humanidade e baseado nas abordagens aqui analisadas, faz-se necessário realizar uma breve ponderação sobre a possibilidade de considerar a substituição entre o “capital natural” e capital criado pelo homem,¹⁰ sobretudo, a partir de uma perspectiva econômica.

Quatro são as possíveis graduações para a questão da sustentabilidade: i) a possibilidade de substituição perfeita; ii) a sustentabilidade fraca; iii) a sustentabilidade forte; iv) sustentabilidade “absurdamente forte”¹¹ (PEARCE; MARKANDYA; BARBIER, 1989; CORAZZA, 2001).

As duas primeiras graduações (substituição perfeita e sustentabilidade fraca) supõem uma homogeneidade qualitativa entre o capital natural e o capital realizado pelo homem. Sendo a segunda graduação fundamentada, sobretudo, na concepção dos paradigmas associados à tradição neoclássica e, por isso, à economia ambiental. Já a sustentabilidade forte diferencia os tipos de capital e suas respectivas contribuições para o bem-estar, seus fundamentos estão relacionados à economia ecológica. E, por fim, tem-se a sustentabilidade “absurdamente” forte, a qual nega qualquer possibilidade de substituição:

É nesse contexto, e sob a concepção da sustentabilidade fraca, que é possível ponderar que o progresso tecnológico suaviza os eventuais obstáculos colocados pela escassez do capital natural ao crescimento econômico, conforme elucidado na seção dois deste artigo. As razões que justificam esta exposição se amparam (dentre outros argumentos) na concepção da substituibilidade entre o capital criado pelo homem e o capital natural, uma vez que o sistema sempre busca manter o equilíbrio global, pois a partir do equilíbrio entre os capitais é possível manter o bem-estar humano (BECKERMAN, 1994). Nota-se desde já que a substituição entre os distintos capitais não é recomendada de maneira incondicional e infinitamente, pois é evidente a dependência da boa qualidade ambiental para o bem-estar e a sobrevivência humana (O’NEILL; HOLLAND; LIGHT, 2008).

10 O capital natural é o conjunto de recursos naturais renováveis e não renováveis, os quais são necessários para assegurar a manutenção da vida. Já o capital criado pelo homem relaciona-se à disponibilidade de capital financeiro, intelectual, entre outros. A união desses capitais é chamada de capital global.

11 A sustentabilidade absurdamente forte não capitaliza a natureza, mas a considera como mundo natural.

Em uma segunda circunstância, a sustentabilidade forte advoga que não deve haver o declínio do capital natural (BECKERMAN, 1994; O'NEILL; HOLLAND; LIGHT, 2008), na medida em que o bem-estar humano depende das fontes naturais. Sob essa concepção a possibilidade de substituição entre o capital natural e demais tipos de capital é bastante limitada, especialmente quando os componentes do capital natural são fundamentais à vida.¹² Assim, é necessário que sejam mantidas as fontes naturais acima do nível julgado crítico para objetivar a manutenção da capacidade humana de gerar o bem-estar (DA SILVA, 2018).

Contudo, e dadas essas considerações, duas reflexões podem ser elucidadas aqui. Primeiramente, e sob a concepção da sustentabilidade fraca, como poderíamos alcançar o bem-estar global, uma vez que as nações são distintas, seja por ordem econômica e/ou socioambiental? Além disso, a concepção do alcance do bem-estar pode não convergir entre as distintas economias, especialmente naquelas em desenvolvimento, tendo em vista a vulnerabilidade e a dependência mais intensa do capital natural para sua sobrevivência e inserção mundial. No segundo plano, e a partir da análise da sustentabilidade forte, deveríamos valorar e capitalizar a natureza através do conceito de “capital natural”? Visto que o paradigma econômico atual tende a preservar a plenitude de sua entidade – o capital – e, na medida em que a natureza é concebida como um capital, deixa ela de ser natureza.

Acreditamos que as duas ponderações demonstram lacunas ainda em aberto, especialmente pela necessidade em valorar a natureza como capital natural, muito embora a segunda tenha avanços sob a concepção de sustentabilidade que vai além das questões puramente econômicas.

Por fim, cabe aqui mencionar a concepção da sustentabilidade absurdamente forte, na qual se defende que a sustentabilidade não deve ser reduzida ao viés estritamente econômico, uma vez que a sustentabilidade está incluída em uma complexa rede de interações de sistemas globais diversos. Além disso, há uma nítida defesa da vida de outras espécies que não apenas a humana, visto que todas as espécies são únicas e insubstituíveis. Portanto, a natureza não deve ser substituída, e deve ser mantida na sua integridade (HOLLAND, 1999; DA SILVA, 2018).

12. De acordo com Andrade e Romeiro (2011), quando o capital natural se faz necessário para manutenção do sistema ao longo do tempo, este é denominado “capital natural crítico”.

Dessa forma, nota-se que as graduações da sustentabilidade estão intimamente relacionadas com as abordagens e princípios inerentes a cada corrente do pensamento, seja pelo otimismo tecnológico e paradigma da substituíbilidade (substituição perfeita ou sustentabilidade fraca), restrição e limitação da substituição de capitais (substituição forte), ou pela negação de qualquer valoração e substituição da natureza (sustentabilidade absurdamente forte).

Considerações finais

Este artigo buscou apresentar a visão de duas principais correntes que interpretam questões associadas à economia e ao meio ambiente: economia ambiental e economia ecológica.

Sob a perspectiva da economia ambiental, o meio ambiente é neutro e passivo, com instrumental direcionado para mensuração das externalidades causadas pelo sistema econômico. Ainda neste aspecto foi notório a eventual substituíbilidade entre os recursos naturais e o capital gerado pelo homem através dos avanços tecnológicos dos países, justificando uma aparente possibilidade do crescimento sustentável, dado o otimismo das tecnologias em possibilitar a expansão produtiva, desde que sejam criadas curvas de aprendizado para novas tecnologias.

A economia ecológica, por sua vez, ao considerar o sistema econômico como parte de um sistema maior, complexo e com intensa troca de energia com o meio ambiente, por meio da ação da entropia no processo produtivo, não pactua da visão do crescimento sustentável, inclusive advoga sobre a insustentabilidade do crescimento econômico, dado o limite físico do ecossistema total. Ademais, como não há uma solução puramente tecnológica para determinar o ritmo e a escala entre o crescimento econômico e degradação ambiental, o crescimento econômico degrada o meio ambiente extraíndo recursos, gerando resíduos e danos à fauna, à flora e a todo sistema.

Nesse sentido e baseado no princípio de que as atividades econômica e humana são dependentes e interagem com o meio ambiente, é fundamental que a teoria econômica busque compreender sob novos olhares a dinâmica entre esses sistemas, incorporando o meio ambiente nos modelos econômicos não apenas como apêndice,

pois as tecnologias só podem trabalhar para reduzir as degradações ambientais se as sociedades também mudarem os padrões e comportamentos de produção e consumo, bem como adquirirem uma maior consciência ambiental. Portanto, é necessária a construção de um novo paradigma produtivo que integre os processos econômicos, ecológicos, energéticos e populacionais, a partir de atores sociais capazes de mobilizar processos políticos e que possibilitem transformações produtivas para alcançar objetivos da sustentabilidade numa dimensão global.

Referências

- ANDRADE, Daniel Caixeta. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. *Leituras de Economia Política*, vol. 11, n. 14, 2012.
- ANDRADE, Daniel Caixeta; ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Degradação ambiental e teoria econômica: algumas reflexões sobre uma “Economia dos Ecossistemas”. *Economia*, vol. 12, n. 1, 2011.
- AGÜERO, Pedro Hubertus Vivas. *Avaliação econômica dos recursos naturais*. Tese (Doutorado) –Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- BARNETT, Harold J.; MORSE, Chandler. *Scarcity and growth: The economics of natural resource availability*. RFF Press, 2013.
- BAUMGÄRTNER, Stefan. *Entropy*. International Society for Ecological Economics, Working paper, 2003.
- BECKERMAN, Wilfred. ‘Sustainable development’: is it a useful concept?. *Environmental Values*, vol. 3, n. 3, p. 191-209, 1994.
- CAVALCANTI, Clóvis. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. *Estudos Avançados*, vol. 24, n. 68, p. 53-67, 2010.
- CECHIN, Andrei; VEIGA, J. E. da. O fundamento central da economia ecológica. In: MAY, Peter (Org.). *Economia do meio ambiente: teoria e prática*, 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier/Campus, 2010, p. 33-48.
- COMMON, Michael; STAGL, Sigrid. *Ecological economics: an introduction*. Cambridge University Press, 2005.
- CORAZZA, Rosana Icassatti. *Políticas públicas para tecnologias mais limpas: uma análise das contribuições da economia do meio ambiente*. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
- COSTANZA, Robert; DALY, Herman E. Toward an ecological economics. *Ecological Modelling*, vol. 38, n. 1-2, p. 1-7, 1987.
- COSTANZA, Robert. Ecological economics: a research agenda. *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 2, p. 335-357, 1991.

- _____. *et al.* Goals, agenda and policy recommendations for ecological economics. In: COSTANZA, R. (Org.) *Ecological economics: the science and management of sustainability*. New York: Columbia University Press, 1991, p.1-21.
- _____. Economia ecológica: uma agenda de pesquisa. In: MAY, H. H.; MOTTA, R. S. (Org). *Valorando a natureza: a análise econômica para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: Campus, 1994.
- DALY, Herman E. The perils of free trade. *Scientific American*, vol. 269, n. 5, p. 50-57, 1993.
- _____. Crescimento sustentável? Não, obrigado. *Ambiente & Sociedade*, vol. 7, n. 2, p. 197-202, 2004.
- DA SILVA, Rodrigo Muniz. A influência do pensamento econômico na ideia de sustentabilidade e suas implicações para a percepção e conservação do mundo natural. *Desenvolvimento e Meio ambiente*, vol. 46, 2018.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. *The entropy law and the economic process*. Cambridge: Harvard University Press, 1971.
- GROSSMAN, Gene M.; KRUEGER, Alan B. *Environmental impacts of a North American free trade agreement*. National Bureau of Economic Research, 1991.
- HARRIS, Jonathan M. Sustainability and sustainable development. *International Society for Ecological Economics*, vol. 1, n. 1, p. 1-12, 2003.
- HELFAND, Gloria E.; BERCK, Peter; MAULL, Tim. The theory of pollution policy. In: *Handbook of environmental economics*. Elsevier, 2003, p. 249-303.
- HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin. *Energia e meio ambiente*. Cengage Learning Editores, 2003.
- HUSSEN, Ahmed M. *Principles of environmental economics*. Psychology Press, 2004.
- KUZNETS, Simon. Economic growth and income inequality. *The American Economic Review*, vol. 45, n. 1, p. 1-28, 1955.
- LATOUCHE, Serge. *Pequeño tratado del decrecimiento sereno*. Barcelona: Icaria, 2009.
- LEFF, Enrique. *Racionalidad ambiental: la reapropiación social de la naturaleza*. Siglo XXI, 2004.
- MARTÍNEZ ALIER, Juan. O ecologismo dos pobres: conflitos ambientais e linguagens de valoração. 2ª Ed. São Paulo: Editora Contexto, 2015.
- MAYUMI, Kozo; GIAMPIETRO, Mario; GOWDY, John M. Georgescu-Roegen/Daly versus Solow/Stiglitz revisited. *Ecological Economics*, vol. 27, n. 2, p. 115-117, 1998.
- MORO, Mariú Abritta. Inovações tecnológicas ambientais: uma análise para o setor de microeletrônica. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências e Letras (Campus de Araraquara), 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/115556>>. Acesso em: 10 dez. 2018.
- MOTTA, Ronaldo Seroa da; RUITENBEEK, Jack; HUBER, Richard. *Uso de instrumentos econômicos na gestão ambiental da América Latina e Caribe: lições e recomendações*. 1996.
- O'NEILL, J.; HOLLAND, A.; LIGHT, A. *Environmental Values*. London: Routledge, 2008.

- PANAYOTOU, Theodore et al. *Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development*. International Labour Organization, 1993.
- PEARCE, D.; MARKANDYA, A.; BARBIER, E. *Blueprint for a Green Economy*. London: Earthscan, 1989.
- PERMAN, Roger; STERN, David I. Evidence from panel unit root and cointegration tests that the environmental Kuznets curve does not exist. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, v. 47, n. 3, p. 325-347, 2003.
- PORTO, Marcelo Firpo; MARTÍNEZ-ALIER, Juan. Ecologia política, economia ecológica e saúde coletiva: interfaces para a sustentabilidade do desenvolvimento e para a promoção da saúde. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 23, p. S503-S512, 2007.
- ROCHA, Leonardo Andrade; KHAN, Ahmad Saeed; LIMA, Patricia Verônica PS. Nível tecnológico e emissão de poluentes: uma análise empírica a partir da curva de Kuznets ambiental. *Economia Aplicada*, v. 17, n. 1, p. 21-47, 2013.
- ROMEIRO, A. R. Economia ou economia política da sustentabilidade. In: MAY, P. H.; LUSTOSA, M.C; VINHA, V (Orgs.). *Economia e meio ambiente*. São Paulo: Atlas, 2003, p.1-32.
- SMULDERS, Sjak; BRETSCHGER, Lucas; EGLI, Hannes. Economic growth and the diffusion of clean technologies: explaining environmental Kuznets curves. *Environmental and Resource Economics*, vol. 49, n. 1, p. 79-99, 2011.
- WCED, SPECIAL WORKING SESSION. World Commission on Environment and Development. *Our common future*, 1987.