



# CONVERGÊNCIA TEÓRICA DA ECONOMIA ECOLÓGICA E DA ECOLOGIA INDUSTRIAL

**Felipe Nogueira da Cruz**

Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares

Av. Dr. Raimundo Monteiro Rezende, 330, Centro

35010-177, Governador Valadares – MG

[felipe.cruz@ufjf.edu.br](mailto:felipe.cruz@ufjf.edu.br)

**Debora Nayar Hoff**

Universidade Federal do Pampa – Unipampa, Campus Santana do Livramento

Rua Barão do Triunfo, 1048, Centro

97573-634, Sant'Ana do Livramento – RS

[deborahoff@unipampa.edu.br](mailto:deborahoff@unipampa.edu.br)

**Daniel Caixeta Andrade**

Instituto de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Uberlândia

Av. João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica

38408-102, Uberlândia – MG

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

## Resumo

Face às evidências de agravamento dos problemas ambientais e interdependência entre estes e a trajetória insustentável das atividades econômicas, correntes teóricas postulam iniciativas de desenvolvimento favoráveis à conservação dos serviços ecossistêmicos, a exemplo da Economia Ecológica (EE) e da Ecologia Industrial (EI). Partindo do pressuposto de que a EE precisa avançar nas discussões relativas à firma e que a EI pode ser um caminho já trilhado para suprir parte desta lacuna, o objetivo deste artigo é apresentar evidências de convergências teórico-analíticas e indicar que o aprofundamento deste estudo pode levar à demarcação futura de uma Economia Ecológica da Firma. O uso de técnicas bibliométricas permitiu a construção de um portfólio de trabalhos científicos com relevância acadêmica para os dois campos de investigação, o qual serviu de referência para a presente pesquisa. Observou-se proximidade teórica relevante entre a EE e a EI, cujos desdobramentos ainda não foram adequadamente tratados pelos estudiosos de ambas as áreas.

**Palavras-chave:** Teoria da firma; Sustentabilidade ambiental; Economia Ecológica; Ecologia Industrial; Ecossistemas Industriais.

## Abstract

In the face of worsening environmental problems and the unsustainable path of economic activities, theoretical perspectives have claimed the improvement of initiatives to conserve ecosystem services, e.g. the Ecological Economics (EE) and Industrial Ecology (IE). Based on the assumption that EE needs to advance towards a theoretical approach related to the firm as well as that IE is a consolidated scientific field which may fulfill this gap, this article is aimed at presenting evidences of



theoretical-analytical convergences and to indicate that the deepening of this study can lead to the future demarcation of an Ecological Economy of the Firm. The use of bibliometric techniques allowed the construction of a bibliographic portfolio with academic relevance in the two fields of research, which served as reference for the present work. We found a very relevant theoretical convergence between EE and IE, but the consequences of such a proximity have not been adequately addressed in the literature.

**Keywords:** Theory of the firm; Environmental sustainability; Ecological Economics; Industrial Ecology; Industrial Ecosystems.

**JEL Codes:** Q01, Q57

## 1. Introdução

Na ciência econômica, o estudo das relações entre sistema econômico e sistema natural tem sido dominado pela “Environmental Economics”. Esta propõe, entre outras coisas, a internalização das externalidades, isto é, o estabelecimento de compensações monetárias para reparar os prejuízos causados contra a natureza. Predomina a noção de que os danos ambientais provocados pela atividade econômica constituem falhas que devem ser precificadas, reduzidas, portanto, à lógica de mercado e corrigidas por ela. Ademais, não há um questionamento do modelo de indústria historicamente instituído, nem do padrão tecnológico vigente como fatores que possam agravar os problemas ambientais<sup>1</sup>.

Este tipo de abordagem decorre da percepção de que não existem limites ambientais à expansão da atividade produtiva, típica da teoria econômica convencional. A metáfora mecânica adotada implica em não reconhecer os fluxos de matéria e energia no processo industrial (Georgescu-Roegen 1971). O crescimento é avaliado por meio de uma representação da circulação interna da renda e de bens, sem considerar a absorção de recursos (matéria e energia) e a liberação de resíduos. O problema relevante durante o

processo de produção reduz-se à decisão de alocação de fatores. Nesse arcabouço, o fluxo de recursos naturais pode ser substituído indefinidamente por capital construído (a chamada sustentabilidade fraca) (Ang & van Passel 2012).

Em uma abordagem econômica alternativa, comumente referida como Economia Ecológica (EE) (Özkaynak et al. 2012), a negligência com relação aos fluxos materiais e energéticos e a ideia de plena substituição de fatores são entendidas como as duas maiores distorções do esquema econômico vigente. Em primeiro lugar, o capital natural não pode ser substituído indefinidamente por capital construído, dado que ambos são complementares (Costanza & Daly 1992). Em segundo lugar, a economia é um subsistema da biosfera, que é finita e não crescente. Isso significa que o crescimento econômico resulta em um custo ecológico e não pode ocorrer de maneira ilimitada. Nicholas Georgescu-Roegen foi quem primeiro utilizou os princípios da termodinâmica ou da entropia para explicar as barreiras impostas pela natureza à expansão das bases materiais das sociedades (Georgescu-Roegen 1971). Para ele, a economia é um sistema dissipativo sustentado por um fluxo metabólico, cuja expansão – que se dá dentro de um sistema finito e materialmente fechado, a biosfera –

<sup>1</sup> O aumento da eficiência na indústria seguiu uma trajetória na qual os avanços técnicos se deram com base na utilização ilimitada de recursos naturais de baixa entropia e na disposição irrestrita de resíduos no

meio ambiente. No entanto, de acordo com Sachs (2000), os custos ecológicos desses avanços foram bastante elevados, uma vez que as externalidades geradas pela indústria colocaram em risco a integridade dos ecossistemas naturais.



tem um custo. Se esse custo for maior que o benefício gerado pelo crescimento, este estará sendo antieconômico (Cechin & Veiga 2010).

A insatisfação com o “mainstream” da teoria econômica gera uma reflexão crítica, a qual parte da contribuição pioneira de Georgescu e se desdobra nas análises transdisciplinares da EE. O resultado é o desenvolvimento de uma visão sistêmica e integrada de todos os componentes do sistema econômico e suas relações com a biosfera, consubstanciando o fulcro da abordagem econômico-ecológica.

No entanto, argumenta-se que a evolução da EE vem ocorrendo de maneira difusa e, não raramente, sobre bases metodológicas frágeis (Sagoff 2011). Recentemente, percebe-se um significativo direcionamento de esforços para a consolidação do que pode ser chamada de Macroeconomia Ecológica (Rezai & Stagl 2016), preocupada com a dinâmica de expansão de sistemas econômicos ecologicamente restringidos pelo atributo de resiliência ecossistêmica. Esta ênfase deixa uma lacuna a ser ocupada na construção teórica: aquela relativa às questões da microeconomia. Se, por um lado, são os aspectos macroeconômicos os que vão orientar a mudança do sistema econômico para algo sistêmico e finito, por outro, são os aspectos relativos à produção e ao consumo que irão materializar o sistema em algo social e materialmente viável. A área chamada de Ecologia Industrial (EI) vem trazendo ganhos para a evolução dos processos produtivos e articulação das firmas neste sentido.

Em levantamento da produção científica da EE e da EI, foi possível identificar: raízes comuns entre as duas áreas, percepção de complementaridade e a necessidade de avanço na aproximação contemporânea das discussões propostas. Identificam-se referências cruzadas tanto no seu arcabouço teórico, quanto no seu desenvolvimento histórico e pode-se dizer que a EE é

relativamente mais ampla, englobando a EI (Kronenberg 2006; Koenig & Cantlon 2000; Cleveland 1999; Duchin & Hertwich 2003; Andrews 2000). Muitas das preocupações, suposições e métodos da EI sobrepõem-se aos da EE e um crescente número de pesquisadores identifica-se com as duas áreas (Duchin & Hertwich 2003; Kronenberg 2006). No entanto, não se percebe, nas publicações analisadas, alguma que busque fazer a aproximação entre as áreas. É nesta lacuna que se estabelece o esforço de pesquisa que deu origem a este artigo.

Introdutoriamente, vale ressaltar que a EI tem nos princípios da termodinâmica seu ponto de partida e foca no processo produtivo e nas possibilidades de ajuste que este pode ou tem que sofrer para adaptar-se aos limites ecossistêmicos. De modo geral, aborda o desenvolvimento tecnológico no contexto dos ecossistemas maiores que o suportam, examinando as fontes de recursos utilizados na esfera da produção e a capacidade do meio ambiente absorver os rejeitos industriais. O sistema econômico é apreendido como um subsistema de um universo maior e mais complexo, uma vez que a indústria depende dos serviços e recursos providos pela biosfera, da qual não pode ser dissociada (Lifset & Graedel 2002). A EI advoga a reestruturação da indústria sob o formato de um sistema intrinsecamente ajustado às tolerâncias e características do ambiente natural. Conceitos desenvolvidos no âmbito dessa abordagem têm sido usados para planejar e conformar arranjos produtivos, com base local ou regional, os quais apresentam padrões de uso de recursos análogos àqueles observados nos sistemas biológicos: os Ecossistemas Industriais. Parece acertado dizer que esta abordagem converge para suprir, em parte, a lacuna de uma teoria da firma dentro da EE. Em outras palavras, pode-se afirmar que a abordagem da EI tem potencial para tornar-se uma peça importante na construção e consolidação de uma teoria ecológica da firma.



Partindo da percepção que a EE precisa avançar nas discussões relativas à firma e ao consumo e que a EI pode ser um caminho já trilhado para suprir parte desta lacuna, este artigo apresenta evidências de convergências teórico-analíticas importantes e indica que o aprofundamento deste estudo pode levar à demarcação futura de uma Economia Ecológica da Firma. Presume-se que eleger a EI (e sua principal abordagem, os Ecosistemas Industriais) como alicerce de uma Economia Ecológica da Firma exige análises detalhadas sobre sua evolução e principais categorias analíticas. Esta é, portanto, a contribuição que se pretende oferecer neste artigo: uma exposição e investigação das categorias analítico-conceituais e dos desdobramentos da pesquisa científica em EI como condição necessária para sua (re)aproximação da EE. É justo, porém, que se afirme que não há, ainda, a pretensão de formular uma nova teoria da firma, mas sim apresentar elementos orientadores que poderão ser considerados nesta formulação.

O artigo está organizado em cinco seções, sendo a primeira esta introdução. A seção 2 descreve os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa. A seção 3 discute a consolidação dos principais conceitos e características referentes à EI e aos Ecosistemas Industriais. Na sequência, a seção 4 apresenta os elementos centrais da EE, elencando a convergência destes com a EI. Por fim, na seção 5, alguns apontamentos concluem o trabalho.

## 2. Procedimentos metodológicos

A pesquisa que dá suporte a este trabalho é bibliográfica e usou como referências artigos

<sup>2</sup> A bibliometria compreende o uso de métodos quantitativos para mapear informações a partir de registros bibliográficos. Para uma discussão sobre a bibliometria e suas técnicas, ver Araújo (2006) e Guedes (2012).

publicados internacionalmente, os quais sejam relevantes para a EE e a EI. Para tanto, foram utilizadas técnicas bibliométricas de pesquisa<sup>2</sup>. Sendo o maior desafio o contato com a produção científica sobre EI, a maior parte do esforço de pesquisa seguiu esta linha de investigação. Para a composição do portfólio de artigos nesta área, o ponto de partida foi identificar os trabalhos científicos publicados em revistas com difusão internacional. Para tanto, foram estabelecidas as seguintes expressões de busca para consulta aos bancos de dados: “Industrial Ecology”, “industrial ecosystems”, “eco-industrial parks” e “eco-industrial systems”<sup>3</sup>.

O passo seguinte concentrou-se na definição das bases de dados alinhadas com a área de conhecimento considerada. Desse modo, procedeu-se a uma busca com as palavras-chave em diversas bases, verificando quais delas apresentavam maior representatividade do tema de pesquisa, isto é, quais possuíam uma maior quantidade de trabalhos científicos disponíveis na área de interesse. Constatou-se que “OneFile” (GALE), “Wiley Online Library” e “SciVerse Science Direct” (Elsevier) indexam uma gama de periódicos mais relacionada com o objeto “ecossistemas industriais”. Estas foram, portanto, as bases utilizadas no procedimento de busca dos artigos.

O processo de busca nas bases possibilitou a construção de um banco de artigos bruto, totalizando 420 trabalhos. Os aspectos considerados na filtragem dessa coleção bruta foram: i) a presença de artigos redundantes; ii) o alinhamento dos títulos com o tema; e, iii) o alinhamento dos resumos com o tema. Como resultado, obteve-se um montante de 284 trabalhos. Para destacar aqueles que seriam usados na discussão aqui

<sup>3</sup> O procedimento utilizado para a definição das palavras-chave foi uma pesquisa exploratória em uma amostra de artigos com reconhecimento científico. Nas fases posteriores da investigação, verificou-se que os termos definidos, de fato, discriminaram os trabalhos referentes à área temática desejada.



apresentada, foi estabelecido um critério de relevância para as publicações. A relevância foi definida a partir do número de citações, periódicos onde foram publicados, por serem semanais na discussão (a partir de sua indicação em outras publicações), ou por terem autores reconhecidamente importantes para as discussões propostas.

O desenvolvimento do conhecimento acerca da EI permitiu o estabelecimento da hipótese de que havia uma convergência importante entre ela e a EE. Para confirmar esta hipótese, buscou-se referências sobre a EE. Para tanto, foram selecionados textos da área nos principais manuais existentes e nos artigos do “issue” inaugural do periódico “Ecological Economics”, que lança as bases deste ramo científico (Costanza 1989; Norgaard 1989; Christensen 1989; Daly & Farley 2003; Common & Stagl 2005). Após a análise destes artigos, optou-se por utilizar os principais manuais da área, visto que os livros-texto trazem a sistematização dos princípios teóricos e metodológicos de uma determinada ciência. Esta pesquisa bibliográfica permitiu a confirmação da hipótese estabelecida, conforme evidenciado nas próximas seções deste trabalho.

### **3. Conciliando indústria e meio ambiente: a Ecologia Industrial**

Face às evidências da gestação de uma crise ambiental, percebe-se a importância das estruturas industriais para o estabelecimento de estratégias de desenvolvimento favoráveis à conservação da qualidade dos serviços ecossistêmicos. Nesse particular, a EI emergiu nos anos recentes como uma das perspectivas mais influentes nas discussões acerca da reestruturação da indústria em um padrão compatível com a noção de sustentabilidade ambiental (Heeres et al. 2004; Gibbs & Deutz 2007; Veiga & Magrini 2009). O termo foi cunhado no começo dos anos 1990, embora os conceitos atualmente envolvidos na sua concepção sejam

originários de décadas anteriores (Carr 1998; Duchin & Hertwich 2003). Um marco importante nesse intercurso foi a publicação, em 1989, do artigo “Strategies for Manufacturing” de Robert Frosch e Nicholas Gallopoulos na “Scientific American”. A EI surgiu oficialmente como campo de investigação no encontro da “National Academy of Engineering”, em 1992, e o primeiro número do “Journal for Industrial Ecology” foi lançado em 1997.

Frosch & Gallopoulos (1989) utilizaram a metáfora dos ecossistemas naturais para examinar três setores específicos: plásticos, ferro e platina. Esses pesquisadores chegaram à conclusão de que é possível perseguir um modelo produtivo mais integrado e limpo por meio de práticas como a reciclagem, desmaterialização, descarbonização e a troca de resíduos entre as firmas. Isso exigiria, de acordo com eles, mudanças no comportamento dos agentes econômicos que possibilitassem a conformação de um sistema industrial mais fechado – em termos de fluxos materiais e energéticos –, com redução do uso de insumos virgens e mitigação dos problemas de desperdício e poluição. Embora tais ideias não fossem estritamente originais, elas inspiraram inúmeros outros trabalhos que contribuíram para a disseminação da EI.

A difusão da EI nos círculos acadêmicos e de negócios levou ao uso relativamente livre do termo: às vezes atribui-se uma visão estreita ao mesmo (em muitos casos essa visão limita-se à reciclagem de resíduos), e, em outras situações, atribui-se uma concepção extremamente ampla. É provável que a ausência de um consenso conceitual ocorra devido ao surgimento recente desse campo de investigação e alguns autores entendem que essa característica da EI permite maior abertura e flexibilidade na incorporação de novas ideias (Sagar & Frosch 1997).

A EI abriga um grupo heterogêneo de pesquisadores, gestores, engenheiros,



consultores e analistas políticos, abrangendo tanto aqueles que apostam em mudanças incrementais da estrutura industrial quanto os defensores de uma transformação radical da indústria. Desse modo, a EI pode ser entendida mais como um amplo espectro de conceitos do que um marco teórico unificado,

o que explica as diferentes formas em que ela é elucidada. O Quadro 1 apresenta algumas conceituações relativas à EI encontradas na literatura sobre o tema.

**Quadro 1** - Definições de Ecologia Industrial

<b>ECOLOGIA INDUSTRIAL / DEFINIÇÃO</b>	<b>REFERÊNCIA</b>
"[Abordagem que busca] desenvolver um sistema industrial mais fechado, que seja mais sustentável em face da queda nos estoques de matérias-primas e do aumento dos problemas com resíduos e poluição."	Frosch e Gallopoulos (1989, p. 145)
"(...) meio pelo qual a humanidade pode deliberada e racionalmente abordar e manter uma capacidade de suporte desejável, dada a contínua evolução econômica, cultural e tecnológica. O conceito requer que o sistema industrial seja visto não de forma isolada, mas em conjunto com os sistemas circundantes. Trata-se de uma visão sistêmica na qual se procura otimizar o ciclo total de materiais."	Graedel e Allenby (1995, p. 9)
"(...) conceito de gestão do fluxo material das unidades industriais. Seu foco são os fluxos físicos de matéria e energia que uma companhia utiliza tendo como fonte seu ambiente natural, bem como a cooperação desta firma com empresas parceiras."	Korhonen (2000, p. 19)
"(...) noção que sugere as potencialidades de conversão dos rejeitos industriais em insumos produtivos, reduzindo assim os custos econômicos, sociais e ambientais de descarte de resíduos, e evitando, simultaneamente, a necessidade de utilizar um volume maior de matérias-primas na produção."	McManus e Gibbs (2008, p. 527)

Fonte: Elaborado pelos autores com base nas referências mencionadas no quadro.

Apesar da EI não constituir um corpo teórico unificado, visualizam-se elementos convergentes nas definições acima replicadas: a EI constitui uma abordagem sistêmica da interação do sistema produtivo com o ecossistema global que utiliza o ambiente natural como modelo para analisar os fluxos de recursos presentes na indústria (metabolismo industrial); seu intuito é otimizar a circulação de matéria e energia (fechamento do ciclo) por meio da reinterpretação dos resíduos como insumos potenciais e da

cooperação entre os agentes econômicos. Em outras palavras, a EI é o campo de investigação que objetiva harmonizar o volume de "throughput" ou transumo<sup>4</sup> requerido por determinada indústria ou sistema econômico à capacidade de suporte e resiliência dos ecossistemas naturais.

Muitos dos trabalhos que se utilizam desse marco teórico-analítico tendem em direção ao aspecto normativo, examinando o que poderia ser feito em circunstâncias industriais

<sup>4</sup> "Throughput" pode ser entendido como o fluxo físico entrópico de matéria e energia proveniente de fontes naturais que passa pela economia humana e

regressa à biosfera. É análogo ao conceito de metabolismo industrial, mas diferencia-se deste por seu foco holístico, não circunscrito à indústria.



particulares. Considerando que a transição em direção a uma estrutura industrial ambientalmente segura envolve problemas socioeconômicos e tecnológicos, visualiza-se a importância desse enfoque prescritivo. Autores como Gibbs & Deutz (2007), Duchin & Hertwich (2003) denotam a existência dual da EI: ela compreende tanto uma teoria acadêmica (análise descritiva dos fluxos de matéria e energia presentes nos sistemas

industriais) quanto uma ferramenta política (abordagem prescritiva oferecendo soluções concretas e medidas práticas para “policy makers” e gestores de negócios). O Quadro 2 sintetiza as categorias centrais que inspiram os dois enfoques (descritivo e prescritivo) da EI.

**Quadro 2 - Enfoques descritivo e prescritivo da Ecologia Industrial**

ENFOQUE DESCRITIVO DA EI	ENFOQUE PRESCRITIVO DA EI
<ul style="list-style-type: none"><li>■ Abordagem holística, examinando as questões ambientais no contexto de viabilidade econômica;</li><li>■ Foco nas interações entre os sistemas de produção e os sistemas ecológicos;</li><li>■ Simpatia por pesquisas e análises multi e interdisciplinares, ligando áreas como Ecologia, Economia, Engenharia, Administração de Empresas, Administração Pública e Direito;</li><li>■ Ênfase nos fluxos de recursos naturais e de informação que ligam os agentes econômicos entre si e com os sistemas produtivo, social e ecológico circundantes;</li><li>■ Utilização de uma perspectiva de ciclo de vida;</li><li>■ Percepção da indústria como um conjunto de sistemas interativos. Os impactos no nível da firma ainda são importantes, mas devem estar conectados ao sistema industrial mais amplo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Dinâmicas e princípios dos ecossistemas naturais como poderosa fonte de orientação para a concepção e gestão dos sistemas industriais;</li><li>■ Reestruturação do desenvolvimento industrial para incluir atividades com menos impactos ecológicos;</li><li>■ Operação da atividade de transformação dentro dos limites ou da capacidade de suporte (“carrying capacity”) de seus ecossistemas locais e da biosfera;</li><li>■ Mudança de um sistema industrial linear para um sistema de circuito fechado;</li><li>■ Eficiência energética e material como estratégia competitiva e fonte de benefícios ambientais;</li><li>■ Conexão das estruturas industriais em uma rede operacional (Ecossistema Industrial) que minimiza a quantidade total de matéria que é eliminada em vazadouros ou que é perdida em processos intermediários.</li></ul>

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Lifset & Graedel (2002); Roberts (2004); Korhonen & Snäkin (2005); Duchin & Hertwich (2003).

Duas direções principais da evolução da EI no campo prescritivo são percebidas. De um lado, a desmaterialização e a descarbonização, isto é, o desenvolvimento de conceitos e estratégias para a otimização dos fluxos de matéria e energia na atividade produtiva. Do outro, a aplicação do conceito ecológico de teias alimentares na criação ou modernização de zonas industriais onde os resíduos de uma empresa são utilizados como insumos por outra (Erkman 1997). Uma análise das publicações mais recentes na área da EI

atesta que estas observações sintetizam as tendências atuais na pesquisa deste campo. Nota-se que a maioria dos cientistas envolvidos nos esforços de investigação tem formação em Engenharia ou mantém vínculo com programas de pós-graduação em



Estudos Ambientais<sup>5</sup>. Isso resulta do foco das pesquisas nos fluxos físicos de matéria e energia (na firma, na indústria, no setor produtivo etc.), bem como na análise de políticas e tecnologias ambientais. Alguns exemplos, presentes em “A Handbook of Industrial Ecology” (Ayres & Ayres 2002), são: estudo sobre os fluxos de metais pesados em sistemas agroindustriais; aplicação dos princípios da EI nos sistemas automotivos e na indústria da informação; gestão de resíduos sólidos a nível municipal; planejamento e conformação de Ecossistemas Industriais.

Os Ecossistemas Industriais são uma das principais agendas de pesquisa da EI, pois a localização e a integração de empresas que podem usar ou reprocessar os resíduos de outras indústrias é fundamental para o sucesso da abordagem. Inúmeras publicações retratam a emergência deste tipo de sistema produtivo integrado. Um trabalho pioneiro nesse sentido foi o de Ehrenfeld & Gertler (1997), descrevendo as relações de interdependência existentes no distrito de Kalundborg, na Dinamarca.

As principais trocas de subprodutos em Kalundborg envolvem uma usina de energia movida a carvão, que vende (i) vapor para uma fábrica de enzimas, uma refinaria e fazendas pesqueiras, (ii) cinzas para uma empresa de cimento, (iii) gás sulfúrico para uma indústria química, (iv) pedra calcárea para uma fábrica de painéis usados na construção civil, e (v) o calor excedente para a população urbana – para fins de aquecimento. A refinaria, por sua vez, supre a usina com resíduos de água para resfriamento e gás dessulfurizado para queima. As fazendas locais usam os resíduos das atividades de pesca e da fábrica de enzimas como fertilizantes (Ehrenfeld & Gertler 1997).

Esse processo de fechamento dos ciclos materiais traduz-se em redução do impacto sobre o serviço ecossistêmico de absorção e neutralização de resíduos, o que torna lícito apontar a aproximação dos resultados alcançados em Kalundborg com os preceitos econômico-ecológicos.

Além da Dinamarca, a literatura identifica iniciativas de constituição de ecossistemas industriais nos Estados Unidos (Carr 1998; Heeres et al. 2004; Deutz & Gibbs 2004), Canadá (Côté & Cohen-Rosenthal 1998), Países Baixos (Baas 1998), Áustria (Schwarz & Steininger 1997), Finlândia (Korhonen et al. 2001; Korhonen 2001), Reino Unido (Mirata 2004), Austrália (Roberts 2004), Alemanha (Sterr & Ott 2004), China (Zhu & Côté 2004; Fang et al. 2007), Tailândia (Chavalparit et al. 2006), Singapura (Yang & Lay 2004), Coreia do Sul (Oh et al. 2005; Park et al. 2008), Índia (Singhal & Kapur 2002), Porto Rico (Ashton 2008) e Brasil (Veiga & Magrini 2009). Dada a variedade de casos reportados, entende-se que os elementos teóricos consolidados dos Ecossistemas Industriais constituem um dos pontos de partida para a construção da Economia Ecológica da Firma. Tais elementos são detalhados na próxima subseção.

### 3.1. Ecossistemas Industriais: principais alicerces

Não há uma definição bem delimitada para o termo “Ecossistema Industrial”. O mesmo encontra-se em evolução e vários estudiosos procuram entender o fenômeno para, assim, caracterizá-lo. Frosch & Gallopoulos (1989) promoveram a metáfora de um Ecossistema Industrial para explicar um determinado tipo de arranjo produtivo no qual os efluentes de um processo servem de insumos para outro. A preocupação fundamental não recai sobre a

<sup>5</sup> Considerando os 284 trabalhos coletados para a composição do portfólio bibliográfico inicial que serviu de base para a construção teórica ora apresentada, verifica-se a prevalência das Engenharias e dos Estudos

Ambientais como área de formação dos autores e coautores desses textos: 49,32% e 25,44%, respectivamente.



quantidade absoluta de rejeitos que são gerados na atividade industrial, mas sim nas potencialidades de conversão dos mesmos em insumos úteis. Isso implica em uma ampla reconceitualização dos resíduos como chave para a criação de Ecosistemas Industriais. Nesse particular, os subprodutos da atividade de transformação devem ser concebidos como recursos potenciais para o ciclo produtivo subsequente, o que requer o estabelecimento de complexas redes de alimentação entre organizações e indústrias (Tibbs 1992).

O Ecosistema Industrial consiste de uma comunidade de empresas localizadas em uma determinada região que interagem trocando e utilizando resíduos materiais e energéticos, sendo um modelo de cooperação que minimiza a degradação ambiental (Sarkis & Rasheed 1995). Nesse sentido, pode-se considerar os Ecosistemas Industriais como a manifestação da aplicação dos princípios da EI no nível interfirma (Lifset & Graedel 2002; Mirata 2004; Roberts 2004; Gibbs & Deutz 2007).

O “President’s Council on Sustainable Development” dos EUA (USPCSD) estabeleceu, em 1997, duas definições para o termo. A primeira delas entende o Ecosistema Industrial como uma rede de empresas que colaboram entre si e com a comunidade local para compartilhar insumos produtivos de forma eficiente, resultando na valorização dos recursos humanos para ambas as comunidades (empresarial e local). A segunda definição toma o Ecosistema Industrial como um sistema planejado de trocas de matéria e energia que procura construir relações econômicas, ecológicas e sociais sustentáveis (USPCSD, 1997). Embora as duas acepções sejam coincidentes, a primeira concentra-se em processos organizacionais e sociais, enquanto que a segunda enfatiza aspectos técnicos (Lambert e Boons 2002).

Essa distinção não é acidental, refletindo antes os diferentes problemas que surgem de tipos distintos de Ecosistemas Industriais. O foco nos aspectos técnicos tem suas raízes nos complexos industriais clássicos (indústrias pesadas intrinsecamente relacionadas). Um exemplo são os complexos químicos, compostos de classes de indústria relativamente homogêneas ligadas através de seus fluxos de produtos e subprodutos. O enfoque organizacional, por sua vez, inspira-se nos problemas relacionados com os distritos industriais que geralmente abrigam uma variedade de pequenas e médias empresas (“mixed industrial parks”), cujos desafios são mais diversificados e não se limitam à troca de fluxos (neste caso, relativamente pequenos e diversos). Torna-se relevante distinguir os tipos de Ecosistemas Industriais, com implicações na definição do próprio conceito (Lambert & Boons 2002).

Os Ecosistemas Industriais incorporam uma estratégia concreta para o desenvolvimento dos princípios da EI: a transformação da indústria em um modelo de circuito fechado que emule os fluxos cíclicos dos sistemas naturais. Sua prioridade é promover uma maior eficiência material e energética dos processos produtivos. No que tange ao fluxo de matéria, essa perspectiva advoga que a extração de insumos brutos da natureza e a eliminação de resíduos materiais devem manter-se dentro da capacidade de renovação do meio ambiente (resiliência ecossistêmica). As ações indispensáveis são: limitação do uso de materiais não renováveis a um nível que considere a equidade intergeracional; utilização eficiente dos materiais virgens e dos produtos gerados a partir deles; e redução ou formatação dos resíduos materiais oriundos das atividades de produção e de consumo para que eles sejam assimilados pelo meio ambiente sem prejudicar a integridade deste. Em outras palavras, a capacidade de reprodução dos recursos naturais deve ser assegurada, bem



como a capacidade de assimilação de resíduos (Korhonen et al. 2001).

No caso da produção e consumo de energia, é necessário reduzir o uso de combustíveis fósseis – e a emissão de gases danosos provocada por sua combustão – e de outras energias não renováveis. Esse objetivo pode ser alcançado por meio da utilização eficiente de energias renováveis (solar, hidrelétrica, eólica ou biomassa) em diferentes níveis de qualidade (energia em cascata), minimizando o aumento da entropia. Um exemplo é o reaproveitamento do calor residual gerado pela produção de eletricidade para atender a demanda por calor na indústria e em residências (Korhonen et al. 2001).

Tanto a reciclagem da matéria quanto a ideia de energia em cascata fornecem a base para se pensar as formas de conectar diferentes processos geradores de resíduos, plantas e indústrias em uma rede operacional que minimiza a quantidade total de matéria e energia que é eliminada em vazadouros ou que é perdida em processos intermediários. Essa rede de trocas é o que se convencionou chamar de simbiose industrial, em analogia às relações mutuamente benéficas encontradas na natureza e rotuladas como simbióticas pelos biólogos e ecologistas (Lifset & Graedel 2002). O conceito-chave da abordagem dos ecossistemas industriais é a visão dos processos produtivos como sistemas interativos ao invés de componentes isolados. Ao fomentar a cooperação entre as firmas, tal enfoque diferencia-se de outras iniciativas que incidem sobre a unidade produtiva individual. Cooperando umas com as outras, as empresas podem melhorar seu desempenho em aspectos econômicos e ambientais, combinando medidas (Gibbs & Deutz 2007).

De acordo com Gibbs & Deutz (2007), as oportunidades para a aplicação do conceito são mais evidentes ao nível dos distritos ou parques industriais, já que a aglomeração de firmas que podem usar ou reprocessar os resíduos de outras unidades produtivas na

mesma localidade é fundamental para o sucesso dessa estratégia. Ademais, a proximidade geográfica possibilita a utilização conjunta de instalações e serviços (transporte de bens e pessoas, tratamento de efluentes) e o acesso compartilhado a fornecedores, distribuidores, mercados e sistemas de apoio, ao mesmo tempo em que facilita a comunicação e o intercâmbio de informação, resultando em parcerias mais seguras (Carr 1998; Chertow 2000).

A opção teórica pelos parques/distritos industriais não impede a análise e aplicação dos princípios dos Ecossistemas Industriais em níveis sistêmicos ou geográficos mais amplos. A região industrial parece constituir um campo promissor para a criação e manutenção de projetos eco-industriais. Deve-se ter em mente que, embora a preocupação central continue sendo a coordenação de atividades no nível interfirma, a forma em que ela se dá em um contexto regional adquire novos formatos (Sterr & Ott 2004). A coordenação de atividades diferencia-se de acordo com as fronteiras assumidas por distintos tipos de Ecossistemas Industriais.

Chega-se à conclusão de que os Ecossistemas Industriais não constituem um modelo singular. Sua própria definição depende de uma abordagem geográfica, aplicada a nível local ou regional. A fronteira desse sistema é, portanto, formada pela rede local ou regional das empresas e os fluxos de recursos organizados dentro dessa rede específica. Uma característica comum a todos os tipos de redes refere-se à interdependência entre os seus membros. Pode-se afirmar então que a interdependência constitui um elemento central, mas não exclusivo, de um modelo genérico de Ecossistema Industrial.

As atividades intensivas de troca de recursos em um Ecossistema Industrial resultam em uma forte interdependência entre os atores, uma vez que o desempenho econômico e ambiental de cada um deles encontra-se



fortemente relacionado com a conduta dos demais. Uma pequena mudança no comportamento de um membro pode provocar um impacto significativo no desempenho de outros participantes e, eventualmente, na sustentabilidade de todo o Ecosistema Industrial por meio de reações em cadeia. Por essa razão, alguns estudiosos (Yang & Lay 2004; Oh et al. 2005; Korhonen & Snäkin 2005) salientam que a uniformidade nas formas construídas de parques e regiões industriais deve ser substituída pela diversidade em atores e atividades. O argumento central reside no fato de que essa diversidade possibilita maior resiliência aos Ecosistemas Industriais, ou seja, estes últimos são capazes de absorver e se recuperar mais facilmente de choques inesperados.

Além dos benefícios ambientais proporcionados pelos Ecosistemas Industriais, ganhos substanciais em produtividade são possíveis, por exemplo, a alteração do “design” e do ciclo de vida dos produtos traduz-se no surgimento de bens com melhor desempenho ou qualidade superior. Para a firma, isso pode implicar na diferenciação de produto e no aumento da participação no mercado. Por outro lado, mudanças nos processos de produção induzem uma maior eficiência dos recursos empregados. Esse ganho de eficiência pode ser resultado de menores gastos com tratamento de materiais e com penalidades regulatórias, economia de matérias-primas por meio do reuso ou reciclagem, utilização de subprodutos, menor consumo de energia e disposição mais segura de resíduos.

Embora os ganhos econômicos e ambientais (via maior eficiência material e energética) sejam mais visíveis no âmbito das estratégias de Ecosistemas Industriais, estas também promovem benefícios sociais, aprimorando a qualidade de vida da população. Existe um uso potencial dos Ecosistemas Industriais como um meio de promoção sustentável dos recursos locais (naturais e humanos). A

gestão dos fluxos locais de matéria e energia incentiva novos negócios, criando empregos de maior qualidade em plantas industriais mais limpas e, por conseguinte, uma base econômica mais ampla e diversificada na localidade ou região. As iniciativas de desenvolvimento eco-industrial são vistas não apenas como um meio de elevar a eco-eficiência das firmas participantes, mas também como a base para um novo modelo de desenvolvimento local/regional (Deutz & Gibbs 2004).

#### **4. Evidências de proximidade com a Economia Ecológica**

Apontados os elementos teóricos consolidados dos Ecosistemas Industriais, enquanto enfoque prescritivo e objeto de pesquisa da EI, a presente seção discute os pontos de convergência entre essa perspectiva e a EE. Inicialmente, são apresentadas as bases da EE (subseção 4.1) e, em seguida, a sua aproximação com os preceitos da EI (subseção 4.2).

##### **4.1. A Economia Ecológica: uma rápida introdução**

Conforme já explicitado na introdução, o tratamento dado ao meio ambiente no âmbito da teoria econômica convencional é baseado no conceito de externalidades. Estas constituem falhas de mercado que impedem a obtenção do chamado ótimo pareteano. Em consequência, há uma assimetria entre o ótimo social e o ótimo privado, sendo a solução a internalização das externalidades geradas ao longo dos processos de produção e consumo. Este arcabouço, fortemente ancorado na microeconomia neoclássica, tem sua preocupação maior no bem-estar dos agentes econômicos. A degradação do meio ambiente, inevitável ao longo do processo econômico, é destituída de importância em si e é considerada tão somente um obstáculo à eficiência alocativa do sistema.



A abordagem acima, conhecida como Economia Ambiental Neoclássica (“Environmental Economics”), só se consolida como ramo da teoria econômica já na segunda metade do século XX. Antes disso, o tratamento ambiental e a importância do meio ambiente eram quase inexistentes. Ao longo da trajetória do pensamento econômico, contribuições de alguns autores<sup>6</sup> apontaram para a negligência com relação aos temas do meio ambiente. Mas foi apenas a partir da década de 1970, principalmente após a publicação da principal obra de Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994), “The entropy law and the economic process” (Georgescu-Roegen 1971), que houve um adensamento das críticas levando à formalização da Economia Ecológica (EE) no fim da década de 1980.

A EE é, portanto, um ramo relativamente recente do conhecimento, estruturado formalmente em 1989 com a fundação da “International Society for Ecological Economics” (ISEE) e com o periódico “Ecological Economics”. A decisão de estruturação da EE se deu em 1987, por ocasião de uma conferência realizada em Barcelona, onde foi colocada a insatisfação de pesquisadores tanto do ramo da economia como das ciências naturais com o potencial de a teoria econômica convencional propor soluções adequadas para problemas ambientais relevantes e com o seu enfoque reducionista<sup>7</sup>. Partiu-se da premissa comum de que a complexidade inerente dos problemas ambientais não permite com que os mesmos sejam analisados pela ótica de apenas uma disciplina. Ao contrário, a natureza da problemática ambiental exige

uma integração analítica de várias perspectivas.

A EE advoga, pois, a integração de conceitos das ciências econômicas (e demais ciências sociais e políticas) e das ciências naturais, notadamente a ecologia, oferecendo uma perspectiva integrada e biofísica das interações meio ambiente-economia, objetivando, em primeiro lugar, fornecer soluções estruturais para os problemas ambientais (van den Bergh 2000). Para tanto, em se tratando de metodologia, desde sua criação há o reconhecimento de que uma visão plural é a mais adequada (Norgaard 1989), muito embora mais recentemente autores tenham criticado esta postura (Spash 2012).

A EE traz implícita a ideia de uma agenda de pesquisa verdadeiramente transdisciplinar, cujo fulcro pode ser associado ao objetivo último do desenvolvimento sustentável, entendido como a equidade intra e intergeracional. De acordo com Costanza (1994: 111), “a economia ecológica é uma nova abordagem transdisciplinar que contempla toda a gama de inter-relacionamentos entre os sistemas econômico e ecológico”. “[Ela] engloba e transcende esses limites disciplinares e vê a economia humana como parte de um todo superior. Seu domínio é a totalidade da rede de interações entre os setores econômico e ecológico” (Costanza 1994: 114). Conforme van den Bergh (2001), alguns temas e ênfases são típicos da EE, como: escala ótima, prioridade à sustentabilidade, foco no longo prazo, indicadores físicos e biológicos, etc.

<sup>6</sup> De acordo com Mueller (2007), os autores pioneiros foram o ucraniano Serjei Podolinsky (1850-1891) e o britânico Frederick Soddy (1877-1956).

<sup>7</sup> As origens das ideias que hoje fazem parte da estrutura analítica da EE são encontradas, principalmente, nos trabalhos de Boulding (1966), Daly (1968) e Georgescu-Roegen (1971), que lançaram as bases para a crítica do

enfoque neoclássico dos problemas ambientais, principalmente no que diz respeito às desconsiderações das leis da termodinâmica no processo econômico e suas implicações para o principal problema da ciência econômica (a escassez). Para uma revisão mais detalhada sobre a evolução das ideias que conformam hoje a EE ver Ropke (2004).



Para Cechin & Veiga (2010), o principal distintivo da EE é sua visão pré-analítica que vê a economia como um subsistema de um ecossistema global maior – finito e materialmente fechado, embora aberto ao fluxo de energia solar –, que impõe limites ao crescimento físico do sistema econômico. Tal visão se desdobra na importância da categoria analítica de escala econômico-ecológica, que é a dimensão relativa entre sistema econômico e meio ambiente. Além deste reconhecimento explícito, os economistas ecológicos centram seus esforços no entendimento da dinâmica subjacente aos processos naturais e econômicos, na tentativa de compreender as interfaces existentes entre estas duas dinâmicas, conferindo, assim, um caráter holístico e integrado nas análises dos problemas ambientais.

Em última instância, a EE é uma tentativa de interpretação biofísica do sistema econômico com ênfase no metabolismo socioindustrial das economias. Em outras palavras, a EE enfatiza o estudo da totalidade das trocas energéticas e materiais (transumo) entre meio ambiente e sistema econômico, tendo como pano de fundo uma tríade de princípios: escala sustentável e respeito à resiliência ecossistêmica, justiça distributiva intra e intergeracional e eficiência econômica (Daly 1993; Daly & Farley 2004; Common & Stagl 2005; Özkaynak et al. 2012). Esta visão de mundo é complementada com a consideração de que são possíveis perdas irreversíveis e consequências catastróficas, uma vez que implicitamente se parte da hipótese ambiental aprofundada, em que o meio ambiente é não neutro e reage de maneira imprevisível às intervenções antrópicas (Mueller 2007).

#### 4.2. Convergências em evidência

Como visto, a EI tem como objetivo principal harmonizar o volume de transumo requerido pelas atividades industriais à capacidade de suporte e resiliência dos ecossistemas

naturais. Seus principais alicerces são: (i) visão sistêmica da interação entre economia e meio ambiente; (ii) metabolismo industrial; (iii) fechamento do ciclo; (iv) transformação dos resíduos em insumos; e (v) cooperação entre os agentes. A análise detalhada desses pontos, a seguir, sustenta o argumento de que a EI é a aplicação do paradigma econômico-ecológico no universo microeconômico.

I. A EI apreende o sistema econômico como um subsistema de um universo maior e mais complexo, uma vez que a atividade de transformação depende do capital natural provido pela natureza. Trata-se de uma perspectiva sistêmica e integrada dos nexos entre indústria e meio ambiente, engendrando uma mudança paradigmática fundamental na organização dessas relações (Sagar & Frosch 1997; Gibbs & Deutz 2007). Este elemento está inteiramente de acordo com a visão pré-analítica da EE e se afasta da visão predominante da teoria econômica convencional, segundo a qual o sistema econômico contém a natureza.

II. A EI procura entender o metabolismo industrial, isto é, o conjunto de entradas e saídas de matéria e energia presentes na indústria, desde a extração desses recursos da natureza até sua reintegração ao ambiente abiótico (Lifset & Graedel 2002; Veiga & Magrini 2009). Do ponto de vista da utilização da energia, a EI usa os conhecimentos oferecidos pela termodinâmica, o que a afasta do esquema analítico convencional da teoria econômica, já que isto requer a compreensão de fenômenos irreversíveis. Mais uma vez, estas considerações sugerem a convergência entre a EI e a EE, uma vez que ambas procuram construir uma visão ecológica da atividade econômica em que o primordial é a análise do “throughput” (ou transumo) (Cavalcanti 2010).

III. Ao apontar as inconsistências do modelo tradicional de crescimento econômico com as leis que regem os ciclos biogeoquímicos, o objetivo fundamental da EI é reestruturar a



indústria em um padrão compatível com as funções dos ecossistemas naturais. Para tanto, os vínculos materiais e energéticos dentro da sociedade industrial precisam ser identificados, entendidos e modificados de modo a minimizar a extração de recursos dos estoques naturais e evitar o desperdício relacionado com a eliminação de resíduos (Ehrenfeld 1997). Essa estratégia implica no fechamento dos ciclos materiais. Percebe-se, portanto, que a EI, assim como a EE, atribui relevância aos atributos ecossistêmicos, principalmente a resiliência.

IV. A EI sugere uma ampla reconceituação dos resíduos como a chave para o fechamento dos ciclos materiais: os subprodutos da atividade de transformação devem ser concebidos como recursos potenciais para o ciclo produtivo subsequente. O conceito de resíduo deixaria de existir. A ênfase nos resíduos da atividade econômica converge com uma das principais preocupações atuais da EE, qual seja: o estado do serviço ecossistêmico de absorção e neutralização de resíduos (Tibbs 1992; Roberts 2004). Nesse sentido, EE e EI

consideram necessário identificar novos usos e técnicas inovadoras para a utilização de resíduos materiais<sup>8</sup>.

V. A EI suporta a concepção de que medidas ambientais tomadas em cooperação com diversas empresas têm benefícios maiores do que aquelas tomadas de forma individual, oferecendo estratégias para se buscar uma maior eficiência por meio de sistemas produtivos integrados (Ecossistemas Industriais), onde as firmas compartilham serviços, transporte e infraestrutura. O conceito adiciona valor às unidades produtivas a partir da otimização do uso de energia, matéria e recursos da comunidade (Heeres et al. 2004). Esta concepção afasta-se do atomismo neoclássico e privilegia a interdependência entre os agentes, ideia esta que emula umas das principais características ecossistêmicas.

O Quadro 3 ilustra a convergência da EE e da EI, enumerando aspectos teóricos e metodológicos presentes em ambas as abordagens.

<sup>8</sup> As duas abordagens aqui reconhecem os limites termodinâmicos impostos à reciclagem contínua da matéria. Admitem também que, devido ao fluxo

entrópico do universo, inexistem processos (naturais ou antrópicos) sem nenhuma perda material e energética.



### Quadro 3 - Economia Ecológica e Ecologia Industrial – Elementos comuns

- Visão sistêmica e integrada de todos os componentes;
- Visão coevolucionária dos processos;
- Pluralismo metodológico;
- Abordagem transdisciplinar do sistema produtivo e suas relações com a biosfera;
- Mudança paradigmática em direção à noção de desenvolvimento sustentável;
- Inserção dos princípios da Termodinâmica (noção de irreversibilidade de processos e rechaço à visão mecanicista de mundo);
- Categorias/instrumentos de análise: resiliência e serviços ecossistêmicos, ciclos biogeoquímicos, *throughput/transumo*, metabolismo industrial, fechamento do ciclo; escala econômico-ecológica;
- Interdependência e cooperação entre os agentes;
- Diversidade de atores;
- Emergência de um novo modelo de firma e indústria;
- Contemporaneidade do surgimento das áreas;
- Ambas partem de uma visão pré-analítica comum: o sistema econômico está submerso num sistema maior finito (o ecossistema global), do qual é dependente e indissociável.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em síntese, a EE e a EI (sob a perspectiva dos Ecossistemas Industriais) compartilham de uma visão holística dos nexos entre sistema econômico e sistemas naturais, contrastando com a teoria econômica dominante, esta última incompatível com as noções de sustentabilidade ambiental, irreversibilidade e resiliência ecossistêmica. Ao destacar a interdependência e os benefícios da cooperação entre atores diversos, as duas perspectivas ensejam a conformação de um novo modelo de firma e indústria, mais ajustado às necessidades de conservação dos serviços providos pela natureza. Neste íterim, os Ecossistemas Industriais representam uma estratégia para a aplicação dos preceitos econômico-ecológicos no nível interfirma, fornecendo conceitos e evidências empíricas relevantes – a partir das experiências internacionais – para a construção de uma teoria da firma nos marcos da EE.

### 5. Considerações Finais

A construção do conhecimento humano, mesmo aquele classificado como teórico, é algo vivo, dinâmico. Precisa, por um lado, representar os anseios da sociedade. Mas, por outro, pautar novos caminhos, provocando a emergência da mudança. A construção da EE vem representando esta dupla função, ao menos para os pesquisadores engajados na busca por um sistema econômico adequado às concepções contemporâneas de desenvolvimento sustentável. Sistema esse cuja complexidade, além de atender premissas de justiça distributiva e de respeito à diversidade, precisa adequar-se aos limites, resiliência e interações sistêmicas do ecossistema em que está inserido.

Avanços vêm sendo feitos, pela EE, no que diz respeito à organização macroeconômica do sistema: novos indicadores (inclusive indicadores alternativos ao PIB), novas contabilizações, novas precificações e novas



propostas de política econômica. Embora ainda embrionárias, é possível perceber que estas iniciativas começam a ganhar fôlego e gravitam em torno da pretensão de se consolidar uma Macroeconomia Ecológica, cujo suporte teórico relevante provém das ideias de Herman Daly (1991).

Se, de um lado, é bem-vindo o esforço de pesquisa da EE no enfrentamento de questões no ambiente macro, é correto também afirmar que são necessários avanços no pensamento microeconômico, principalmente no que tange à firma, às interações interfirma e ao consumo. Esta constatação pode ser respaldada pelo fato de que a Economia Ambiental, de cunho neoclássico, tem forte ancoragem na microeconomia convencional. Se a EE pretende ser uma alternativa viável ao *mainstream* neoclássico, é preciso que sejam desenvolvidas em simultâneo abordagens do ponto de vista teórico e metodológico nos níveis macro e micro.

Neste sentido, a EI sinaliza alguns caminhos possíveis e a experiência empírica da área reforça a aplicabilidade dos conceitos. O progresso, para além dos fechamentos de ciclo no âmbito interno da firma e do *design* de processos ambientalmente mais corretos, está em pensar o sistema de forma que as interações entre as firmas ampliem o potencial de aproveitamento de resíduos e subprodutos. Tal arranjo tende a reduzir as pressões ambientais em várias etapas da produção.

Ao investigar de maneira detalhada as principais categoriais analíticas da EI e sua principal ferramenta operacional – os Ecossistemas Industriais –, procurou-se salientar as convergências destas abordagens com a perspectiva econômico-ecológica. Como exemplo disso, apontou-se que ambas compartilham de um ancestral teórico comum, qual seja, Nicholas Georgescu-Roegen, cujas ideias inequivocadamente apontam para a

insuficiência da metáfora mecânica da teoria econômica neoclássica em representar os fenômenos concretos.

Em segundo lugar, viu-se que tanto a EE quanto a EI partem de uma mesma visão pré-analítica, que é aquela que estabelece o sistema econômico como um subsistema materialmente fechado e submerso em um sistema maior e aberto do ponto de vista energético. Seguindo os argumentos de Herman Daly (1991), principal discípulo de Georgescu-Roegen e um dos principais difusores contemporâneos da perspectiva econômico-ecológica, fatores determinantes do alcance de um campo de estudo estão nas premissas constitutivas do ato cognitivo anterior à empreitada analítica. Se a EE e a EI comungam de uma mesma cosmovisão, é natural que sejam esperados resultados convergentes de suas respectivas investigações, respeitando-se, obviamente, suas respectivas escalas de análise.

Em terceiro lugar, foi visto que as duas abordagens em foco neste artigo possuem objetos de análise que necessariamente requerem análises interdisciplinares, uma vez que ambas se propõem a fornecer uma visão ecológica da atividade econômica. Há que se admitir que tal objetivo não pode ser obtido por meio de pesquisas monodisciplinares. Ao contrário, a medida de sucesso da interpretação ecológica do sistema econômico e da compreensão de seu metabolismo industrial é diretamente proporcional ao êxito na consolidação de equipes de pesquisa que saibam integrar os princípios das ciências naturais e sociais.

Os argumentos apresentados evidenciam uma proximidade teórica relevante e cujos desdobramentos ainda não foram adequadamente tratados. Os levantamentos feitos até então sinalizam a quase inexistência de esforços deste tipo já publicados. Para além disso, a discussão desenvolvida demonstra espaços relevantes de investigação que precisam ser ocupados. O



desafio passa a ser a construção da coesão da nova teoria. Como seria expressa a nova função de produção, de custos, de oferta, de demanda? Como se daria a nova dinâmica de ajuste dos mercados e a definição das quantidades e preços adequados à manutenção do funcionamento do sistema econômico, respeitados os limites ecossistêmicos? Como fazer com que a produção oriunda destes novos processos seja distribuída de forma a se ter justiça distributiva no âmbito global? Como estimular inovações com características eco-inovadoras, para além daquelas adotadas por pressão de regulação ou por interesses econômicos?

O sistema econômico atual demonstra sinais, cada vez mais intensos, de esgotamento do modelo, ao mesmo tempo em que se tornam mais graves seus efeitos colaterais sobre meio ambiente e sociedade. Urge a emergência de alternativa viável, pautada em outros princípios. Neste sentido, os pesquisadores envolvidos com a EE precisam se desafiar na proposição de um sistema econômico estabelecido sobre novos parâmetros, adequado à construção do paradigma centrado na sustentabilidade e com um corpo teórico elegante e coeso, a ponto de poder requerer seu espaço como *mainstream* desta área do conhecimento.

## BIBLIOGRAFIA

- Andrews, C. J., 2000. Building a micro foundation for industrial ecology. *Journal of Industrial Ecology* Vol 4: 35-51.
- Ang, F., & S. Van Passel, 2012. Beyond the environmentalist's Paradox and the Debate on Weak versus Strong Sustainability. *BioScience* Vol 26: 251-259.
- Araújo, C. A., 2006. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. *Em Questão* Vol 12: 11-32.
- Ashton, W. S., 2008. Understanding the organization of industrial ecosystems: a social network approach. *Journal of Industrial Ecology* Vol 12: 34-51.
- Ayres, R. U., 2002. On industrial ecosystems, em Ayres, R. U. & L. W. Ayres (eds) *A handbook of Industrial Ecology*. UK: Edward Elgar Publishing, pp. 44-59.
- Ayres, R. U. & L. W. Ayres, 2002. *A handbook of Industrial Ecology*. UK: Edward Elgar Publishing.
- Baas, L. W., 1998. Cleaner production and industrial ecosystems, a Dutch experience. *Journal of Cleaner Production* Vol 6: 189-197.
- Boulding, K. E., 1966. The economics of the coming spaceship earth, em Jarrett H. (ed) *Environmental quality in a growing economy*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Carr, A. J. P., 1998. Choctaw eco-industrial park: an ecological approach to industrial land-use planning and design. *Landscape and Urban Planning* Vol 42: 239-257.
- Cavalcanti, C., 2010. Conceptions of ecological economics: its relations with Mainstream and Environmental Economics. *Estudos Avançados* Vol 24: 53-67.
- Cechin, A. & J. E. Veiga, 2010. O fundamento da Economia Ecológica, em May, P. (org) *Economia do Meio Ambiente: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, pp. 33-48.
- Cechin, A. D & J. E. Veiga, 2010. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. *Revista de Economia Política* Vol 30: 438-454.
- Chavalparit, O.; Rulkens, W. H.; A. P. J. Mol & S. Khaothair, 2006. Options for environmental sustainability of the crude palm oil industry in Thailand through enhancement of industrial ecosystems. *Environment, Development and Sustainability* Vol 8: 271-287.
- Chertow, M. R., 2000. Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and Environment* Vol 25: 313-337.
- Christensen, P. P., 1989. Historical roots for Ecological Economics – biophysical versus allocative approaches. *Ecological Economics* Vol 1: 17-36.
- Cleveland, C. J., 1999. Biophysical economics: from physiocracy to ecological economics and industrial ecology, em Gowdy, J. & K. Mayumi (eds) *Bioeconomics and sustainability: essays in honor of Nicholas Georgescu-Roegen*. Cheltenham (England): Edward Elgar Publishing.
- Common, M. & S. Stagl, 2005. *Ecological Economics: an introduction*. New York: Cambridge University Press.
- Costanza, R., 1989. What is Ecological Economics? *Ecological Economics* Vol 1: 1-7.



- Costanza, R., 1994. *Economia ecológica: uma agenda de pesquisa*, em May, H. H. & R. S. Motta (orgs). *Valorando a natureza: a análise econômica para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: Campus.
- Costanza, R. & H. E. Daly, 1992. Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology* Vol 6: 37-46.
- Côté, R. P. & E. Cohen-Rosenthal, 1998. Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences. *Journal of Cleaner Production* Vol 6: 181-188.
- Côté, R. P. & J. Hall, 1995. Industrial parks as ecosystems. *Journal of Cleaner Production* Vol 3: 41-46.
- Daly, H. E., 1968. On economics as a life science. *The Journal of Political Economy* Vol 76: 392-406.
- Daly, H. E., 1991. Towards an environmental economics. *Land Economics* Vol 67: 255-259.
- Daly, H. E., 1993. *Ecological economics: The concept of scale and its relation to allocation, distribution, and uneconomic growth*. Discussion Paper: School of Public Affairs, University of Maryland.
- Daly, H. E. & J. Farley, 2004. *Ecological Economics: principles and applications*. Washington, DC: Island Press.
- Deutz, P. & D. Gibbs, 2004. Eco-industrial development and economic development: industrial ecology or place promotion? *Business Strategy and the Environment* Vol 13: 347-362.
- Duchin, F. & E. Hertwich, 2003. Industrial ecology. Online Encyclopaedia of Ecological Economics, International Society for Ecological Economics.
- Ehrenfeld, J. R., 1997. Industrial ecology: a framework for product and process design. *Journal of Cleaner Production* Vol 5: 87-95.
- Ehrenfeld, J. R. & N. Gertler, 1997. Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg. *Journal of Industrial Ecology* Vol 1: 67-79.
- Erkman, S., 1997. Industrial ecology: an historical view. *Journal of Cleaner Production* Vol 5: 1-10.
- Fang, Y., R. P. Côté & R. Qin, 2007. Industrial sustainability in China: practice and prospects for eco-industrial development. *Journal of Environmental Management* Vol 83: 315-328.
- Frosch, R. A. & N. E. Gallopoulos, 1989. Strategies for manufacturing. *Scientific American* Vol 189: 144-152.
- Georgescu-Roegen, N., 1971. *The entropy law and the economic process*. Cambridge: Harvard University Press.
- Gibbs, D. & P. Deutz, 2007. Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development. *Journal of Cleaner Production* Vol 15: 1683-1695.
- Graedel, T. E., 1994. Industrial ecology – definition and implementation, em Socolow, R.; R. Andrews; F. Berkhout e V. Thomas (eds) *Industrial Ecology and Global Change*. Cambridge University Press: Cambridge, pp. 23-41.
- Graedel, T. E. e B. A. Allenby, 1995. *Industrial Ecology*. Prentice Hall, New Jersey.
- Guedes, V. L. S., 2012. A bibliometria e a gestão da informação e do conhecimento científico e tecnológico: uma revisão da literatura. *Ponto de Acesso* Vol 6: 74-109.
- Heeres, R. R.; W. J. V. Vermeulen & F. B. Walle, 2004. Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons. *Journal of Cleaner Production* Vol 12: 985-995.
- Jelinski, L. W.; Graedel, T. E.; Laudise, R. A.; D. W. McCall & C. K. Patel, 1992. Industrial ecology: concepts and approaches. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America* Vol 89: 793-797.
- Kirschner, E., 1995. Eco-industrial parks find growing acceptance. *Chemical and Engineering News* Vol 73: 15-15.
- Koenig, H. E. & J. E. Cantlon, 2000). Quantitative industrial ecology and ecological economics. *Journal of Industrial Ecology* Vol 3: 63-83.
- Korhonen, J., 2000. Completing the industrial ecology cascade chain in the case of a paper industry - SME potential in industrial ecology. *Eco-Management and Auditing* Vol 7: 11-20.
- Korhonen, J., 2001. Co-production of heat and power: an anchor tenant of a regional industrial ecosystem. *Journal of Cleaner Production* Vol 9: 509-517.
- Korhonen, J. & J.-P. Snäkin, 2005. Analysing the evolution of industrial ecosystems: concepts and application. *Ecological Economics* Vol 52: 169-186.
- Korhonen, J.; M. Wihersaari & I. Savolainen, 2001. Industrial ecosystem in the Finnish forest industry: using the material and energy flow model of a forest ecosystem in a forest industry system. *Ecological Economics* Vol 39: 145-161.
- Kronenberg, J., 2006. Industrial ecology and ecological economics. *Progress in Industrial Ecology – An International Journal* Vol 3: 95-113.



- Lambert, A. J. D. & F. A. Boons, 2002. Eco-industrial parks: stimulating sustainable development in mixed industrial parks. *Technovation* Vol 22: 471-484.
- Lifset, R. & T. E. Graedel, 2002. Industrial Ecology: goals and definitions, em Ayres, R. U. & L. W. Ayres (eds) *A Handbook of Industrial Ecology*. UK: Edward Elgar Publishing, pp. 3-15.
- Lovelady, E. M. & M. M. El-Halwagi, 2009. Design and integration of eco-industrial parks for managing water resources. *Environmental Progress & Sustainable Energy* Vol 28: 265-272.
- McManus, P. & D. Gibbs, 2008. Industrial ecosystems? The use of tropes in the literature of industrial ecology and eco-industrial parks. *Progress in Human Geography* Vol 32: 525-540.
- Mirata, M., 2004. Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and coordination challenges. *Journal of Cleaner Production* Vol 12: 967-983.
- Mueller, C. C., 2007. Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente. Brasília: Editora UnB.
- Norgaard, R. B., 1989. The case for methodological pluralism. *Ecological Economics* Vol 1: 37-57.
- Oh, D.-S.; K.-B. Kim & S.-Y. Jeong, 2005. Eco-industrial park design: a Daedeok technovalley case study. *Habitat International* Vol 29: 269-284.
- Özkaynak, B.; F. Adaman & P. Devine, 2012. The identity of ecological economics: retrospects and prospects. *Cambridge Journal of Economics* Vol 36: 1123-1142.
- Park, H.-S.; Rene, E. R.; S.-M. Choi & A. S. F. Chiu, 2008. Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan, South Korea – from spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis. *Journal of Environmental Management* Vol 87: 1-13.
- Rezai, A. & S. Stagl, 2016. *Ecological Macroeconomics: Introduction and Review*. Working Paper N° 9, Institute for Ecological Economics, Vienna University of Economics and Business, Vienna, Austria.
- Roberts, B. H., 2004. The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study. *Journal of Cleaner Production* Vol 12: 997-1010.
- Ropke, I., 2004. The early history of modern ecological economics. *Ecological Economics* Vol 50: 293-314.
- Sachs, I., 2000. Sociedade, cultura e meio ambiente. *Mundo & Vida* Vol. 2: 7-13.
- Sagar, A. D. & R. A. Frosch, 1997. A perspective on industrial ecology and its application to a metals-industry ecosystem. *Journal of Cleaner Production* Vol 5: 39-45.
- Sagoff, M., 2011. The rise and fall of ecological economics. *The Breakthrough* Vol 1: 45-58.
- Sarkis, J. & A. Rasheed, 1995. Greening the manufacturing function. *Business Horizons* Vol 38: 17-27.
- Schwarz, E. J. & K. W. Steinger, 1997. Implementing nature's lesson: the industrial recycling network enhancing regional development. *Journal of Cleaner Production* Vol 5: 47-56.
- Silva, M. C. & A. A. C. Teixeira, 2011. A bibliometric account of the evolution of the EE in the last two decades. Is ecological economics (becoming) a post-normal science? *Ecological Economics* Vol 70: 849-862.
- Singhal, S. & A. Kapur, 2002. Industrial estate planning and management in India – an integrated approach towards industrial ecology. *Journal of Environmental Management* Vol 66: 19-29.
- Spash, C., 2012. New foundations for Ecological Economics. *Ecological Economics* Vol 77: 36-47.
- Sterr, T. & T. Ott, 2004. The industrial region as a promising unit for eco-industrial development – Reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology. *Journal of Cleaner Production* Vol 12: 947-965.
- Tibbs, H. B., 1992. Industrial Ecology – An agenda for environmental management. *Pollution Prevention Review* Vol 2: 167-180.
- USPCSD (U.S. President's Council on Sustainable Development), 1997. *Eco-Industrial Park Workshop Proceedings*, Washington, USA.
- Van den Bergh, J. C. J. M., 2011. Ecological economics: themes, approaches, and differences with environmental economics. *Regional Environmental Change* Vol 2: 13-23.
- Van Leeuwen, M. G.; W. J. V. Vermeulen & P. Glasbergen, 2003. Planning eco-industrial parks: an analysis of Dutch planning methods. *Business Strategy and the Environment* Vol 12: 147-162.
- Veiga, L. B. E. & A. Magrini, 2009. Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development. *Journal of Cleaner Production* Vol 17: 653-661.



Yang, P. P.-J. & O. B. Lay, 2004. Applying ecosystem concepts to the planning of industrial areas: a case study of Singapore's Jurong Island. *Journal of Cleaner Production* Vol 12: 1011-1023.

Zhu, Q. & R. P. Côté, 2004. Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group. *Journal of Cleaner Production* Vol 12: 1025-1035.