



## ECOLOGIA INDUSTRIAL, SIMBIOSE INDUSTRIAL E ECOPARQUE INDUSTRIAL: CONHECER PARA APLICAR

Marcelo Trevisan<sup>a</sup>, Luis Felipe Nascimento<sup>b</sup>, Lúcia Rejane da Rosa Gama Madruga<sup>a</sup>,  
Daiane Mülling Neutzling<sup>c</sup>, Paola Schmitt Figueiró<sup>b</sup>, Marília Bonzanini Bossle<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal de Santa Maria, <sup>b</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, <sup>c</sup>Universidade de Fortaleza

### Resumo

Entre as diversas ideias e práticas relacionadas ao desenvolvimento sustentável, consta a Ecologia Industrial (EI). Seu surgimento está vinculado à metáfora entre os ecossistemas naturais e industriais. A EI oferece uma visão holística que considera, concomitantemente e de modo amplo, as necessidades da natureza e dos homens. Entretanto, no Brasil, a EI é ainda um tema relativamente desconhecido no meio acadêmico e, principalmente, no meio empresarial. Há pouca clareza quanto às relações e às distinções entre as definições de EI, Simbiose Industrial (SI) e ecoparque industrial. Até o momento, não foram encontrados registros na literatura sobre a existência de ecoparques industriais brasileiros, embora já tenham sido observadas iniciativas como a do Rio de Janeiro, que não prosperou. Este estudo teórico conceitual objetiva evidenciar a definição, as características e as escalas de atuação, além de outros aspectos referentes à EI, bem como o seu natural vínculo com o desenvolvimento sustentável. Os principais resultados apontam que o uso dos conceitos de EI e de SI na forma de um ecoparque industrial visa revitalizar áreas urbanas e rurais, bem como promover o crescimento e a retenção de empregos. Alguns países os utilizam para amenizar a degradação ambiental e a quantidade de resíduos gerados.

**Palavras-chave:** Ecologia Industrial; Desenvolvimento Sustentável; Simbiose Industrial; Ecoparque Industrial.

### 1. INTRODUÇÃO

Gradativa e lentamente, a sociedade, representada pelos consumidores, fornecedores, acadêmicos, governos e investidores, entre outros de seus integrantes, passa a valorizar iniciativas relacionadas ao desenvolvimento sustentável. A valorização e a preocupação vinculadas à sustentabilidade ambiental podem estar relacionadas à apresentação, em 2002, pela *Organisation for Economic Co-operation and Development* (Organisation de Coopération et de Développement Economiques, 2002), de tendências mundiais que apontam para o crescimento na produção industrial, no consumo e nos resíduos gerados. A situação negativa é ampliada pelo descarte inadequado de resíduos, que podem contaminar as águas (superficiais e subterrâneas) e o solo, trazendo prejuízos à natureza e ao ser humano. Tais previsões estão pautadas em diversos dados, entre eles, os que dão conta de que, entre 1980 e 2000, no contexto dos países que fazem parte da OECD (Organisation for Economic Co-operation and

Development), os municípios que produziam 100 kg de resíduos *per capita*/ano passaram a produzir 150 Kg *per capita*/ano, fazendo com que a estimativa seja de que, até 2020, esse número alcance 200 Kg *per capita*/ano (Organisation de Coopération et de Développement Economiques, 2002).

A partir dessas previsões, simultaneamente, eleva-se o interesse por um desenvolvimento sustentável e pelos inerentes desafios a ele vinculados. Por outro lado, como uma possibilidade para alcançá-lo, no período compreendido pelas décadas de 1980 e 1990 (Erkman, 1997), entrou em evidência o conceito de Ecologia Industrial (EI). Embora as práticas vinculadas à EI possam ser consideradas recentes, devido ao corpo de conhecimentos que a contempla, ela pode ser apreciada como uma ciência da sustentabilidade, pois a EI parte da metáfora da natureza para analisar e otimizar os complexos industriais, logísticos e de consumo, bem



como seus fluxos de energia e materiais (Cohen-Rosenthal, 2000; Costa *Et Al.*, 2010; Ehrenfeld, 2000; Erkman, 1997; Hoffman, 2003; Isenmann, 2003; Jelinski *et al.*, 1992; Korhonen, 2004). Bristow *et Wells* (2005) afirmam que o desenvolvimento sustentável requer ações inovadoras baseadas em metáforas ecológicas da diversidade que vão além dos limites da racionalidade econômica contemporânea. Dessa forma, segundo Deutz (2009, p. 276), a EI “compreende teoria e prática para a implementação do desenvolvimento sustentável”, na medida em que “os resíduos passam a ter outras possibilidades, sendo compreendidos como matéria-prima para outras atividades” (Rodrigues *et al.*, 2013, p. 46).

Especificamente no Brasil, a Ecologia Industrial é ainda um tema relativamente desconhecido no meio acadêmico e, principalmente, no meio empresarial (Araujo *et al.*, 2013). Tanto é assim que não foram encontrados registros na literatura sobre a existência de ecoparques industriais no país. Entretanto, já foram observadas iniciativas importantes, mas que não obtiveram o sucesso esperado, como a do Rio de Janeiro (Fragomeni, 2005; Veiga, 2007; Veiga *et Magrini*, 2009). Por outro lado, em termos de Simbiose Industrial, constata-se ações desse gênero no Pólo Petroquímico de Camaçari, na Bahia (Tanimoto, 2004), e por meio do Programa Brasileiro de Simbiose Industrial (PBSI) (Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, 2013).

Por sua vez, Chertow (2000) e Sakr *et al.* (2011) afirmam que é em ambientes como os dos ecoparques industriais (EPI) – lugares nos quais as empresas cooperam entre si e com as respectivas comunidades locais, compartilhando diversos recursos e obtendo retornos em termos econômicos, ambientais e humanos (Chertow, 2007) – que os princípios de SI encontram melhores condições de implementação.

Diante disso, a ausência de um ecoparque industrial no Brasil ratifica a justificativa de expor com clareza os temas vinculados a este estudo teórico. Também avaliou-se ser importante realizar esta investigação no país, tendo em vista suas características econômicas emergentes (assim como as de outras nações que já possuem iniciativas de ecoparques industriais) e ainda as sociais, políticas, culturais e ambientais semelhantes a outros países da América do Sul – região inexpressiva em termos de projetos de EPIs.

Nesse sentido, este estudo teórico conceitual objetiva evidenciar a definição, as características e as escalas de atuação, além de outros aspectos referentes à EI, bem como o seu natural vínculo com o desenvolvimento sustentável. Em outras palavras, busca-se tornar mais claros os pressupostos da EI e as suas possibilidades de aplicação.

Para tanto, este artigo está estruturado em quatro seções, considerando-se esta introdução. A segunda refere-se à Ecologia Industrial, expondo uma contextualização históri-

ca, sua definição, suas características e seus níveis ou escalas de atuação, bem como seu natural vínculo com o desenvolvimento sustentável. A terceira seção trata da Simbiose Industrial (SI), apresentando os resultados esperados de relacionamentos simbióticos, o conceito de um ecoparque industrial (EPI) e a origem da iniciativa pioneira de Kalundborg. Também são detalhadas as particularidades de ações espontâneas e planejadas de SI. Por fim, expõem-se as considerações finais.

## 2. ECOLOGIA INDUSTRIAL

A concisa apreciação do contexto do desenvolvimento sustentável e da sustentabilidade ambiental evidencia que, conforme afirmaram Gladwin *et al.* (1995), estes são conceitos que despertam diversas interpretações e ainda permitem espaço para novas proposições, dada a sua essência multidisciplinar (Despeisse *et al.*, 2012), embora essas definições ainda estejam em construção. Nesse sentido, Robinson (2004) e Jabbour *et al.* (2012) enfatizaram que o desenvolvimento sustentável envolve a criação de novos métodos, disciplinas e ferramentas que são integradores e que geram ativamente sinergia, não apenas a soma entre esses elementos.

É possível que esse envolvimento seja decorrente do fato de que tais conceituações se encontram em um âmbito muito subjetivo, favorecendo a propagação de inúmeras interpretações sobre o tema. Segundo Avelino *et Rotmans* (2011), a definição de desenvolvimento sustentável é contestada devido à sua inerente complexidade, por envolver aspectos ambíguos calcados em percepções multidimensionais e que necessitam de abordagens integradas e interdisciplinares. No entanto, por outro lado, também se observa alguns elementos convergentes em seu conceito e presentes em diferentes publicações, que enfatizam, por exemplo, aspectos relacionados à maximização simultânea dos sistemas biológicos, econômicos e sociais, bem como o incremento da qualidade de vida humana, em uma ótica ecossistêmica suportável (Brasil, 2012; Gladwin *et al.*, 1995).

Por ser composta por elementos multidimensionais, a sustentabilidade provoca alterações em vários campos de pesquisa e de ação das organizações e dos indivíduos. O “desenvolvimento sustentável é um dos movimentos mais importantes do nosso tempo, e, a julgar pela vitalidade dos fatores institucionais presentes em praticamente todo o mundo, pode-se inferir que ele continuará se propagando por muitas décadas” (Barbieri *et al.*, 2010, p. 153).

No entanto, as orientações organizacionais ainda estão voltadas ao crescimento e à globalização da economia por meio da elevação permanente do consumo, em que a moeda precisa girar com agilidade, e o que se produz deve ser



consumido rapidamente, podendo gerar desperdício de energia e de matérias-primas (Barbieri *et al.*, 2010; Costa *et al.*, 2010; Lang, 2003). Essas orientações, além de serem meramente econômicas, trazem danos à biosfera e à própria sobrevivência do homem, de tal forma que, em pouco tempo, poder-se-á perceber a impossibilidade de reverter esse cenário.

Para Banerjee (2003), os problemas ambientais (como a poluição) não reconhecem fronteiras nacionais ou regionais. No entanto, Hopwood *et al.* (2005) ressaltam que a visão dominante na agenda das grandes corporações, no plano prático do desenvolvimento sustentável, ainda é aquela em que a economia, a sociedade e o meio ambiente são considerados como elementos separados. Em contrapartida, Mauerhofer (2008) argumenta que atingir os objetivos ambientais é uma pré-condição para a própria manutenção do sistema econômico e social.

Algumas parcelas da sociedade apoiam manifestações de reação, outras apenas acompanham, outras são resistentes e creditam as mudanças climáticas a transformações naturais. Entretanto, é nítida a crescente valorização das questões ambientais por parte das pessoas, questões essas que incluem preocupações de ordem social e econômica. Organismos internacionais como o *Greenpeace* e a Organização das Nações Unidas lideram movimentos que procuram soluções coletivas e colaborativas inseridas no contexto do desenvolvimento sustentável. As demandas pela sustentabilidade envolvem práticas que precisam incluir o comprometimento de diversos grupos, pois a colaboração deve ser institucionalizada em ações das organizações e dos *stakeholders*, enquanto partícipes da sociedade. Nesse sentido, Boons *et al.* (2011) destacaram que o desenvolvimento sustentável, incluindo as ideias preconizadas pela Ecologia Industrial (EI), envolve processos sociais pautados em fatores ecológicos, institucionais e econômicos.

Percebe-se, portanto, que os atos organizacionais gradativamente tendem a ser pautados por essa concepção de sustentabilidade, que tem sua origem no conceito de desenvolvimento sustentável (Despeisse *et al.*, 2012), o qual prevê o uso dos recursos naturais no tempo presente, porém sem comprometer a capacidade de sobrevivência no futuro, de tal forma que seja defendida como um valor social e institucional. O próprio “modelo das organizações inovadoras sustentáveis é uma resposta organizacional a essas pressões institucionais” (Barbieri *et al.*, 2010, p. 150). Isso faz com que executivos percebam esse conceito como um custo inerente aos negócios ou um mal necessário para a obtenção da legitimidade e a manutenção do direito de uma empresa funcionar (Hart *et al.*, 2003; Perez-Batres *et al.*, 2011).

Como as atividades organizacionais dependem consideravelmente dos contextos sociais, econômicos, culturais e

políticos em que estão inseridas, seus gestores sentem-se “comprometidos” a seguir e a atender às demandas da comunidade em que atuam. Buscam, ao longo do tempo, providenciar a adoção dos valores reconhecidos pela sociedade, acompanhando tendências, atuando de forma interdependente, imitando ações bem-sucedidas e cedendo às pressões externas em uma escala de valores que pode ser diferente da atual. O resultado é que as organizações tendem a estabelecer relações interorganizacionais, caso contrário teriam dificuldades para a aquisição dos recursos e a obtenção da legitimidade necessária para operar nesses cenários.

Como Ehrenfeld (2000) expôs, são necessários princípios fundamentais para guiar políticas e ações sustentáveis, de modo que elas não se percam em seus desdobramentos e execuções, o que poderia ensejar danos maiores. Acredita-se que esses princípios se encontram nos pressupostos da Ecologia Industrial. O principal a ser considerado é a não compactuação com a insustentabilidade, o que significa que um sistema produtivo qualquer não pode ser facilmente aceito como uma fonte geradora de desequilíbrios – ambientais, sociais ou econômicos.

Assim, a Ecologia Industrial (EI) nasce da aspiração humana de integrar seus sistemas artificiais aos sistemas pertencentes à natureza. Dentro dessa perspectiva, a EI oferece uma visão holística que considera, concomitantemente e de modo amplo, as necessidades da natureza e dos homens, não só as econômicas, mas também as sociais (Isenmann, 2003). A EI possui sua origem vinculada à metáfora entre os ecossistemas naturais e industriais. Devido a essa consideração, acredita-se ser válido pontuar a procedência da palavra ecologia e o modo como é percebida pelas ciências biológicas.

Segundo Pinto-Coelho (2002), foi o alemão Ernst Haeckel, em 1869, que propôs, pela primeira vez, o termo ecologia. De origem grega, seu significado literal é: *oikos* – casa; e *logie* – estudo. Modernamente, a ecologia recebe definições como o estudo das interações que estabelecem a distribuição e a abundância dos seres vivos ou o estudo do ambiente enfatizando as inter-relações entre organismos e seu meio circundante. “A ecologia baseia-se em interações multi, poli e, principalmente, transdisciplinares” (Pinto-Coelho, 2002, p. 13), inclusive com as Ciências Sociais, e, assim, utiliza a Teoria de Sistemas. Seu objetivo “é compreender o funcionamento de sistemas vivos em sua totalidade e não apenas decompô-los em seus elementos constituintes para analisá-los” (Callenbach, 2001, p. 58). Dessa forma, a ecologia estaria preocupada em entender as relações entre os organismos e entre estes e o meio ambiente, permitindo a apreensão das interconexões existentes.

Na opinião de Erkman (1997), quando se refere à história da EI, o Japão foi um dos países pioneiros a tratar dessa



temática, uma vez que, no final da década de 1960, o governo contratou uma consultoria independente para investigar possibilidades de orientar a economia do país para atividades baseadas em informação e conhecimento, com menor grau de dependência do consumo de materiais. Entretanto, o primeiro a empregar o termo “ecossistema industrial” foi o geoquímico americano Preston Cloud, em um trabalho de 1977. Contudo, a literatura reconhece como artigo seminal sobre EI o publicado em 1989, no periódico *Scientific American*, sob o título “Strategies for Manufacturing”, de autoria de Frosch e Gallopoulos, dois pesquisadores da *General Motors* (Erkman, 1997). Frosch et Gallopoulos (1989) defendiam a possibilidade de aperfeiçoar os métodos produtivos mediante a integração de processos. A produção utilizava a lógica de operações isoladas cujas matérias-primas, depois de usadas, resultavam em produtos e resíduos. Em contrapartida, previam o aproveitamento interno desses resíduos em subprodutos, reduzindo o impacto sobre o meio ambiente. Daí o termo: ecossistemas industriais.

Nesse sentido, segundo Graedel (2006), apesar de a analogia entre o conceito de ecossistema industrial e o de ecossistema biológico não ser perfeita, ela ainda é válida ao considerar que os ecossistemas biológicos são a base de uma rede complexa de processos, na qual o que é produzido é consumido por algum dos seus integrantes. Similamente, cada processo industrial tem de ser visualizado como uma parte dependente e inter-relacionada com um todo maior.

O artigo de Frosch et Gallopoulos (1989) impulsionou o conhecimento sobre as ideias relacionadas à EI, mas Erkman (1997) já havia indicado que foi ainda no início da década de 1980, em Paris, que o pesquisador Jacques Vignerou lançou a noção de Ecologia Industrial, mesmo que isso não seja muito mencionado. Outras datas relevantes a respeito da história da EI e que merecem destaque são: em 1991, a *National Academy of Sciences* (Estados Unidos) considerou a Ecologia Industrial um novo campo de estudo; em 1992, Braden Allenby é o autor da primeira tese de doutorado que contém diversos pressupostos relacionados à EI; em 1997, o *Journal of Cleaner Production* edita um número especial dedicado ao tema e, no mesmo ano, tem início a publicação do *Journal of Industrial Ecology* (Araujo et al., 2013; Erkman, 1997).

Em 1994, Robert White (1994) propôs a definição de Ecologia Industrial (Lifset et Graedel, 2002) como o estudo dos fluxos de materiais e de energia em atividades industriais e de consumo, dos seus efeitos no meio ambiente e das influências econômicas, políticas, regulatórias e sociais diante do uso e da transformação de recursos. Nesse conceito, é possível perceber, de forma clara, o caráter multidisciplinar que a EI possui – assim como o desenvolvimento sustentável.

A metáfora que originou as ideias da Ecologia Industrial sugere a sistemática reutilização de materiais e de resíduos como uma relevante contribuição para reduzir a necessidade de extração de matérias-primas, mitigando os impactos ambientais (Costa et Ferrão, 2010; Graedel, 2006). Para Gibbs et Deutz (2007), essas ações possuem relação direta com as dimensões do desenvolvimento sustentável, na medida em que tendem a diminuir os custos dos insumos e as despesas com desperdícios (econômica), amenizar a utilização dos recursos naturais e a produção de lixo (ambiental) e, por fim, também podem incrementar a qualidade de vida da população (social).

Erkman (1997) menciona que a aplicação da EI pode ser fonte de vantagem competitiva, permitindo que eventuais resíduos se tornem subprodutos comercializáveis, dada a necessidade de aumento de eficiência na utilização de energia e de materiais e na eliminação de perdas. Assim, atua como uma ferramenta com propriedades claramente econômicas, ambientais e sociais (Ehrenfeld, 2000). Uma das características mais fundamentais da EI é a integração dos vários componentes de um sistema para reduzir: a) a entrada de recursos; b) a geração de poluentes; c) as saídas de resíduos, tendo especial aplicação no nível interorganizacional (Despeisse et al., 2012).

De acordo com Isenmann (2003), a EI pode ser compreendida em termos gerais por meio de suas cinco características, quais sejam:

- i) sua perspectiva fundamental: ter a natureza como modelo;
- ii) seu objetivo primordial: buscar a harmonia, o equilíbrio, a integração entre os sistemas ecológico e industriais;
- iii) sua definição de trabalho: uma ciência da sustentabilidade;
- iv) seus objetos principais de trabalho: produtos, processos, serviços e resíduos;
- v) sua ideia central: a busca pelo entrelaçamento de sistemas.

Conforme a manifestação de Chertow (2000), a EI possui três diferentes níveis ou escalas de atuação (Figura 01). A primeira classificação refere-se às atividades desenvolvidas internamente à organização (intraorganizacional) e correspondem a ações como *ecodesign*, prevenção da poluição e contabilidade verde. No nível intermediário (meso), estão as iniciativas que envolvem relações interorganizacionais, tais como Simbiose Industrial, ecoparques industriais (EPI) e análise do ciclo de vida dos produtos. Por fim, no âmbito



regional ou global (macro), encontram-se a análise do fluxo de materiais e de energia, bem como políticas e planos de desenvolvimento.

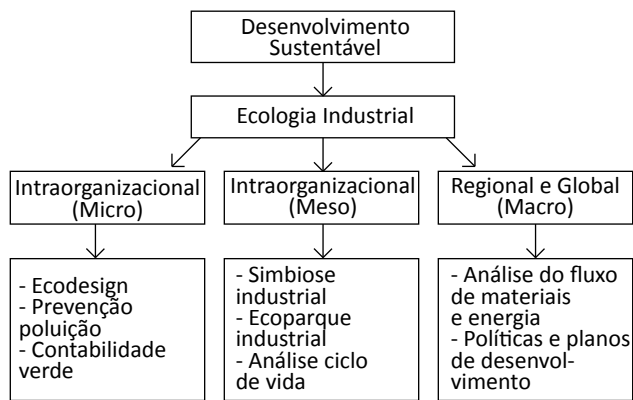


Figura 01 - Escalas de atuação da Ecologia Industrial

Fonte: elaborado a partir de Chertow (2000, p. 315)

Dessa forma, Giurco *et al.* (2011) defenderam que a Simbiose Industrial (ou o nível meso) pode ser a aplicação mais difundida da EI, cuja atividade envolve não apenas as trocas interorganizacionais de materiais, produtos, água, energia e resíduos, merecendo destaque o intercâmbio de seus recursos humanos e tecnológicos, e de suas experiências e conhecimentos (Posch, 2010). Destaca-se também a ascensão da temática SI, devido ao estímulo de organizações não governamentais, de agências estatais e da iniciativa privada para a adoção de suas práticas e para a elevação do número de pesquisas a respeito, na tentativa de amenizar o impacto causado sobre o meio ambiente (Boons *et al.*, 2011).

Embora sejam necessários períodos de médio e de longo prazos para o desenvolvimento das principais escalas da Ecologia Industrial (Boons *et al.*, 2011), ela pode ser considerada uma ferramenta com potencial para acrescentar valor às organizações (Rodrigues *et al.*, 2013) e para ajudar empresas “interessadas em obter um desempenho ótimo de sustentabilidade ambiental empresarial, por acarretar ações integradas entre indústrias, requerendo regionalmente o planejamento e definição de políticas” (Lima, 2008, p. 91).

Em um artigo cujo objetivo era fornecer um quadro analítico das Ciências Sociais para investigar a EI e desenvolver uma abordagem prescritiva, Baas *et al.* (2004) propuseram três fases para a Ecologia Industrial regional. A primeira, denominada eficiência regional, envolve a autonomia de decisão de cada empresa para coordenar ações com outras organizações locais com vistas à redução das ineficiências. O segundo estágio ocorre com base no reconhecimento mútuo e na confiança entre os parceiros para a troca de conhecimentos, e abrange a participação da comunidade (cidadãos). Isso proporciona uma aprendizagem regional, na medida em que amplia a definição de sustentabilidade aos envolvidos. Por fim, na terceira

fase, os atores avançam em uma visão estratégica, em prol do desenvolvimento sustentável.

Os autores ressaltam que antes da primeira fase pode ser incluída uma etapa de seleção, na qual os atores que farão parte do projeto serão submetidos a alguns critérios relacionados aos princípios da EI e do próprio desenvolvimento sustentável. Para Chertow (2007), essa inclusão eleva a perspectiva de sucesso, especialmente de iniciativas que são planejadas e que partem do zero, já que existem implementações de SI que surgiram naturalmente, de forma espontânea (conforme será detalhado na seção seguinte).

A necessidade de considerar a perspectiva transversal e abrangente da EI foi reforçada por Jelinski *et al.* (1992). Segundo esses autores, e também Cohen-Rosenthal (2000), a sua aplicação envolve processos de engenharia, do sistema econômico, de tributação, de regulamentação governamental, do padrão de vida do consumidor (vida útil dos produtos), da evolução tecnológica, entre outros fatores culturais e sociais que se estendem para além das fronteiras de apenas uma organização, demandando uma visão compartilhada.

As múltiplas e concomitantes visões que a EI propicia constituem um dos seus pontos mais relevantes. Para citar algumas dessas visões, destaca-se a filosofia, a ética, a economia, a ecologia, a biofísica e a gestão, que são unidas para gerar soluções sustentáveis viáveis para os sistemas humanos (Isenmann, 2003). Quando tais elementos operam em consonância, utilizando-se de metáforas e analogias, podem propiciar um encorajamento para a criatividade, para o início de *brainstormings*, além de servirem de inspiração para uma convergência e para a orientação de perspectivas e ações, antes concorrentes, em direção à sustentabilidade (Erkman, 1997).

A viabilidade de sistemas industriais com essas características pressupõe pelo menos dois atributos: inicialmente, a visão sistêmica de todos os tipos de recursos e as suas relações com a biosfera; posteriormente, o reconhecimento da interdependência entre progresso tecnológico, crescimento econômico e mudança social como pré-condições para haver desenvolvimento socioeconômico, considerando o respeito ao meio ambiente. Em outras palavras, deve-se buscar que o progresso tecnológico esteja em consonância com o tripé do desenvolvimento sustentável (Isenmann, 2003).

Certamente essa coexistência não é perfeita. Ao contrário, dada a multiplicidade de condições e de atores envolvidos em um sistema industrial, é possível que a convivência de seus interesses continue, em certo grau, marcada por pressões, conflitos, desajustes e contradições, embora provavelmente atenuadas pela lógica integrativa da EI. Mesmo dessa forma, a Ecologia Industrial representa um avanço in-



tegrativo importante em relação a uma lógica pura das cadeias de suprimentos, baseada na otimização de recursos, ou mesmo uma evolução significativa, quando comparada ao raciocínio dos ecologistas radicais, desejosos de uma natureza utopicamente intocada (Hopwood *et al.*; 2005; Marconatto *et al.*, 2013).

Nesse sentido, Hoffman (2003) alerta para o fato de que, ao serem discutidos e analisados os níveis da Ecologia Industrial, é necessário reconhecer que os sistemas industriais não são constituídos apenas por materiais e energia. Deve-se considerar a presença significativa de indivíduos, de organizações e de suas demandas por recursos, além dos respectivos aspectos estruturais e institucionais. O autor afirma que é evidente a omissão desses fatores entre os ecologistas industriais, embora eles sejam fatores essenciais para a eficácia empresarial em mercados competitivos caracterizados por escassez de recursos, pela busca da institucionalização organizacional e por relacionamentos interorganizacionais favoráveis. Todavia, essa omissão não impede que sejam constatadas diferentes ações de EI em diversos países.

A metáfora proposta pela EI, em termos do nível meso, encontra seu exemplo concreto mais ilustre na cidade dinamarquesa de Kalundborg. A rede de trocas interorganizacionais da localidade inspirou um de seus gerentes a empregar, pioneiramente, a nomenclatura Simbiose Industrial. Trata-se de uma analogia explícita às relações mutuamente benéficas existentes na natureza e denominadas pelos biólogos como simbióticas (Chertow, 2000; Lifset *et Graedel*, 2002). A próxima seção é dedicada a ampliar essas informações.

### 3. SIMBIOSE INDUSTRIAL

Literalmente, o termo simbiose significa “vivendo junto” e é usado para descrever interações nas quais ocorre o mutualismo, isto é, relacionamentos entre organismos de espécies diferentes, envolvidos em trocas diretas, feitas em prol de benefícios mútuos (Begon *et al.*, 2007; Callenbach, 2001; Pinto-Coelho, 2002). Conforme Begon *et al.* (2007), as relações mutualistas abrangem bens ou serviços e resultam na aquisição, pelos participantes, de novas capacidades.

De forma similar, as empresas buscam um retorno coletivo maior do que a soma das vantagens individuais que poderiam alcançar atuando individualmente. Portanto, segundo Chertow (2000), os elementos-chave para a Simbiose Industrial (SI) são a colaboração e as possibilidades sinérgicas proporcionadas pela proximidade geográfica entre as organizações interessadas. Assim, a SI oferece contribuições relevantes para a EI, na medida em que adota e implementa características dos ecossistemas naturais, tais como conectividade, comunidade e cooperação (Costa *et Ferrão*, 2010).

Em um estudo recente, Lombardi *et Laybourn* (2012) expõem a definição de Simbiose Industrial como uma rede composta por diversas empresas para fomentar aecoinovação e a mudança de cultura em longo prazo. Assim, a SI é definida de maneira a representar um complexo de interações que torne possível desenvolver e compartilhar conhecimentos, gerando transações mutuamente rentáveis e processos de negócios mais eficientes. Para os autores, devido ao atual potencial tecnológico, mesmo que a proximidade geográfica seja frequentemente associada com a SI, ela não deve ser considerada como um fator determinante da sua operacionalização.

Na opinião de Chertow *et Ehrenfeld* (2012), o crescimento econômico e o social, bem como as respectivas oportunidades tecnológicas, são propagados pela cooperação que pode ser identificada na Simbiose Industrial. Além disso, Wang *et al.* (2013) afirmam que é viável reduzir o desperdício e a poluição por meio do compartilhamento de: materiais, água, energia, informações e experiências.

Entretanto, Posch (2010) defende que, para viabilizar essas características da SI, é necessário ir além das conexões restritas e destinadas ao reaproveitamento de água, de energia e de materiais, que o autor designa como Simbiose Industrial de primeira geração. Assim, o papel central da SI passa para os relacionamentos interorganizacionais que promovem a interação das capacidades e dos conhecimentos das pessoas que atuam nas empresas parceiras, bem como das tecnologias que cada ator participante detém para a obtenção de diferenciais competitivos, do ponto de vista socioambiental. Esse novo papel da SI é denominado pelo autor como de segunda geração (Posch, 2010).

O desenvolvimento sustentável exige mais do que reaproveitar a energia, a água e reciclar materiais ou fabricar subprodutos. A necessidade de avançar nas relações proporcionadas pela SI é justificada, por Posch (2010), pelo fato de que essas ações são a segunda melhor opção. Por não evitarem ou reduzirem os impactos negativos dos processos produtivos na origem, elas não dedicam (ou dedicam muito pouca) atenção às interações durante as etapas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de produtos e inovações de serviços. Além disso, o foco não está nas sinergias entre os indivíduos e suas habilidades.

No entanto, o autor reconhece que esses relacionamentos simbióticos requerem, além de longo prazo, a criação de uma cultura de cooperação consciente não apenas entre as empresas, mas que também inclua os demais atores sociais locais (tais como as instituições de ensino e os setores público e privado). Além destes, são ainda citados esforços que poderão trazer alguns resultados importantes: a) reaproveitamento energético; b) reciclagem de materiais; c) aperfeiçoamento e integração de processos produtivos; d)



desenvolvimento de produtos sustentáveis; e) aprendizagem coletiva; f) potencialização de projetos conjuntos para o alcance de objetivos comuns.

Desenvolver produtos de alto desempenho, alta confiabilidade, baixo custo, aparência atraente, segurança e, sem dúvida, de menor impacto ambiental é um desafio ligado à segunda geração da Simbiose Industrial, tal como proposta por Posch (2010), e presente no competitivo contexto empresarial. Independentemente do tamanho da organização que atue em mercados de base tecnológica, esses desafios são significativos. No entanto, nos empreendimentos de pequeno porte recebem uma dimensão ainda maior. Dessa forma, uma alternativa para enfrentar essas dificuldades parece ser trabalhar sinergicamente com outras empresas, universidades, centros de pesquisa, órgãos governamentais e suas entidades de fomento, entre outros *stakeholders* da sociedade. Isso pode ocorrer com maior eficácia em ambientes como parques tecnológicos, ecoparques industriais (EPI), incubadoras, associações e consórcios (Barros *et al.*, 2011).

Como exemplo, Graedel (2006) afirma que, durante o compartilhamento de experiências, de conhecimentos e das atividades de P&D, podem surgir ideias e soluções relevantes quanto à escolha de insumos, ao projeto para a eficiência energética, à mitigação de emissões atmosféricas (tanto no momento da produção quanto no uso do produto), à minimização dos resíduos líquidos e sólidos (do processo produtivo e do próprio produto) e, ainda, quanto à reciclagem (lógica reversa). O autor destaca que o excesso de resíduos oriundos de embalagens é uma simples demonstração do quanto ainda é necessário considerar alguns aspectos ambientais para o desenvolvimento de novos produtos e processos.

Ferrer *et al.* (2002), e também Van Hoof (2009), alertam que os próprios profissionais (como *designers* e engenheiros) precisam ser preparados para projetar, desenvolver, fabricar e otimizar produtos e processos direcionados ao desenvolvimento sustentável. Na literatura, é bastante comum encontrar artigos que abordam a introdução de cursos a respeito de Ecologia Industrial para estudantes de graduação e de pós-graduação (Cervantes, 2007; Eckelman *et al.*, 2011; Jung *et al.*, 2013; Ramaswami *et al.*, 2012).

Para Chertow (2000) e Sakr *et al.* (2011), são em ambientes como os ecoparques industriais (EPI) que os princípios de SI encontram melhores condições para serem concretamente implementados. Chertow (2000) utiliza a definição de EPI desenvolvido pelo governo dos Estados Unidos quando, durante a gestão do presidente Bill Clinton, foi elaborada uma política pública de apoio à criação de ecoparques industriais. Assim, um EPI é composto por um grupo de empresas que cooperam entre si e com a comunidade local

para compartilhar informações, energia, água, materiais, infraestrutura e recursos naturais de forma eficiente, obtendo retornos em termos econômicos, ambientais e humanos (Chertow, 2007).

Embora existam semelhanças, algumas características distinguem um EPI de outras áreas que congregam empreendimentos. Inicialmente, a identificação das trocas simbióticas é que recebe uma atenção especial. Posteriormente, a estrutura interna é organizada a partir dos pressupostos da gestão ambiental e das ideias da EI e da SI (Chertow *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2013).

O mais famoso caso de ecoparque industrial é o do município dinamarquês Kalundborg. Esse empreendimento surgiu no início da década de 1970 e está pautado nas interações de indústrias em áreas como: energia, água, fluxos de materiais e de informações. Conta com a participação do governo local e com empresas dos setores energético (refinaria de petróleo e usina termoeletrica), farmacêutico, de fabricação de gesso, entre outros (Lifset *et al.*, 2002). Sua origem vincula-se à necessidade de melhor aproveitar a água e a energia, atender à legislação ambiental, reduzir os custos operacionais e também gerenciar adequadamente os resíduos (Chertow, 2007).

Barros *et al.* (2011, p. 180) afirmam que o EPI de Kalundborg:

[...] se desenvolveu a partir da escassez da água para as diversas atividades do município, de tal modo que em torno de uma termoeletrica se acoplaram uma miríade de conexões; desde a produção de fertilizantes até o abastecimento de energia nas habitações locais, passando inclusive pelo fornecimento de gesso.

Entretanto, o reconhecimento das implicações ambientais oriundas dos intercâmbios que foram evoluindo ao longo do tempo somente ocorreu no ano de 1989 (Chertow, 2000). É interessante destacar que a palavra “evoluindo” não é empregada por acaso. Conforme Heeres *et al.* (2004), a iniciativa de Kalundborg não foi concebida como um EPI, mas progrediu para tal estrutura gradualmente, no transcorrer dos anos. Para isso acontecer, Chertow (2000) lembra que uma equipe de coordenação, responsável pelas comunicações interna e externa, bem como por elevar o número de intercâmbios, desempenhou uma função primordial na cidade dinamarquesa. E esta é uma estrutura que não foi encontrada em outra iniciativa semelhante na Áustria, o que dificultou o processo de desenvolvimento de seu ecoparque (Chertow, 2000). O uso do conceito de Simbiose Industrial na forma de EPI tem o objetivo de: a) revitalizar áreas urbanas e rurais; b) promover o crescimento e a retenção de empregos; c) incentivar o desenvolvimento sustentável.



Assim, em alguns países, esses projetos estão sendo usados com o intuito de amenizar a degradação ambiental e a quantidade de resíduos gerados (Chertow, 2007). Veiga et Magrini (2009) ampliam esses dados, informando que algumas nações, como China, Singapura, Tailândia, Coreia do Sul, Índia, Colômbia e Porto Rico, compreendem um EPI como a oportunidade de gerar desenvolvimento econômico e bem-estar social, e, simultaneamente, amenizar danos ambientais.

Além da Dinamarca, encontram-se ecoparques industriais em diversos países, tais como: Estados Unidos, Canadá, Alemanha, Áustria, Austrália, Reino Unido, Suécia, Holanda, Japão, Filipinas, Indonésia, Itália, Finlândia e França (Barros et Rosa, 2011; Chertow, 2000; Heeres et al., 2004; Jung et al., 2013; Mirata, 2004; Sakr et al., 2011).

As iniciativas que aplicam os princípios de SI podem surgir e se desenvolver de forma espontânea ou planejada. No primeiro caso, também conhecido por auto-organizado, as trocas começam por meio de ações individuais de algumas empresas motivadas pela necessidade de redução de custos, de elevação de receitas ou de expansão de seus negócios. Ou seja, não há uma consciência dos pressupostos de um ecossistema industrial. Isso acaba acontecendo, natural e espontaneamente, no decorrer do tempo, quando são “descobertos”. Foi o que ocorreu em Kalundborg, quase duas décadas depois do início das suas relações interorganizacionais. Além disso, a existência de uma equipe de coordenação, para identificar e organizar as conexões simbióticas, representa um significativo incentivo para o seu desenvolvimento (Chertow, 2007).

Já os projetos planejados resultam de um esforço consciente para selecionar e aproximar (inclusive geograficamente) empresas que possuem potenciais para o compartilhamento de diversos recursos. Em geral, envolvem a constituição de um grupo de pessoas representantes de diferentes atores sociais – como universidades, entidades empresariais e distintos níveis de governo – que orientará a organização e a articulação necessárias para que a ideia se concretize em longo prazo (Chertow, 2007). Podem ser oriundos de implementação de políticas públicas (HEERES et al., 2004) ou de lideranças da comunidade que contam com credibilidade, confiança, acesso aos diferentes setores da sociedade local e que sejam comprometidas com os valores do desenvolvimento sustentável (Ferrer et al., 2012). Ressalta-se que afinidades e trocas pré-existentes agregam facilidades ao referido esforço (Chertow, 2000; Gibbs et Deutz, 2007).

A literatura evidencia que os empreendimentos planejados tendem a obter um desempenho inferior perante os auto-organizados. Os resultados mais negativos estão associados àqueles promovidos pelo governo, devido à ausência de

participação ativa das empresas e porque suas motivações e seus interesses não foram adequadamente considerados (Chertow, 2007; Costa et Ferrão, 2010; Heeres et al., 2004).

Em virtude disso, Costa et Ferrão (2010) propõem uma abordagem denominada *middle-out*, que corresponde ao emprego conjugado das formas espontâneas e planejadas. Consiste em realizar intervenções sucessivas, interativas e orientadas (planejadas) de grupos de interesse, que convergem num processo dinâmico de modificação do contexto, de modo a que este possa vir a motivar/suportar o desenvolvimento natural (espontâneo) de simbioses industriais (Costa, 2013, p. 13).

De acordo com os autores, a abordagem possibilita integrar as contribuições de gestores (*top-down*) e trabalhadores (*bottom-up*) para aperfeiçoar e desenvolver o projeto. Dessa forma, a proposta adota os seguintes passos: a) avaliação do contexto; b) identificação dos agentes que devem participar da iniciativa; c) intervenções e atividades de coordenação, de acordo com o contexto e com os objetivos do projeto; d) monitoramento das ações e de seus impactos; e) *feedback* aos coordenadores, para auxiliá-los em intervenções adicionais (Costa et Ferrão, 2010).

Pode-se observar que a implementação de projetos de SI e de EPI é tanto salutar e desejada quanto complexa e desafiadora. Nesse sentido, extrapola a

[...] simples criação de conexões entre empresas para o reaproveitamento de materiais e energia, pois se trata de construir organizações que sejam sustentáveis não apenas do ponto de vista econômico-financeiro, mas que também apresentem resultados satisfatórios em relação aos impactos ambientais e sociais de suas atividades produtivas. Para tanto, toda a comunidade local deve estar envolvida na construção, organização e funcionamento (Barros et Rosa, 2011, p. 181).

Uma ressalva importante, trazida por Chertow (2000), destaca o fato de que os princípios da Simbiose Industrial não precisam ocorrer nos limites restritos de um ambiente denominado como um EPI. Tampouco é suficiente designar um local como um ecoparque para que este seja associado a reais relações interorganizacionais simbióticas. Na verdade, o nome é irrelevante, diante dos possíveis resultados que a iniciativa poderá trazer em termos econômicos, sociais e ambientais. O que importa é a equipe de coordenação estar consciente de que, para alcançá-los, (ainda) não existe uma forma exclusiva ou modelar. Além disso, os desafios estão envoltos nas questões de longo prazo, dos investimentos necessários, nas respectivas legislações e nos diferentes riscos associados, em consonância com os contextos sociais, institucionais, políticos e culturais peculiares de cada localidade.





Especificamente no Brasil, não foram encontrados registros na literatura sobre a existência de ecoparques industriais. Já foram observadas iniciativas como a do Rio de Janeiro, que não prosperou (Fragomeni, 2005; Veiga, 2007; Veiga et Magrini, 2009). Por outro lado, em termos de Simbiose Industrial, constata-se ações desse gênero no Pólo Petroquímico de Camaçari, na Bahia (TANIMOTO, 2004), e por meio do Programa Brasileiro de Simbiose Industrial (PBSI) (Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, 2013).

O PBSI é apresentado como uma versão do *National Industrial Symbiosis Programme* (NISP), originário do Reino Unido e promovido pela Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG), pela Federação das Indústrias do Estado de Alagoas (FIEA) e pela Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul (FIERGS). É direcionado a empresas de diversos setores e tamanhos e visa estabelecer interações lucrativas por meio de recursos (humanos, resíduos materiais, água, energia, logística, compartilhamento de ativos, tecnologia e perícia) que estão disponíveis, mas que ainda sejam subutilizados. O PBSI é divulgado como sendo capaz de diminuir os custos, de proporcionar novos negócios com mercados alternativos e também de construir uma marca ambientalmente responsável, “o que, nos dias de hoje, pode ser um grande diferencial competitivo” (Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, 2013, p. 1).

Diante do exposto, é nítida a dependência que a Simbiose Industrial possui dos relacionamentos entre os diversos atores, em especial, daqueles que envolvem organizações interessadas nas trocas simbióticas. Nesse aspecto, percebem-se algumas convergências entre as ideias preconizadas pela Simbiose Industrial e as motivações para a efetivação das interações entre organizações, embora Van Bommel (2011) sugira a existência de níveis ainda reduzidos de experiência e dos conhecimentos necessários para implementar os diferentes aspectos do desenvolvimento sustentável nas atuais redes globais de fornecimento industrial.

Outra observação refere-se à constatação de que as empresas se organizam para satisfazer interesses coletivos e que as relações interorganizacionais ocorrem entre as esferas macroambiental e microambiental, ou seja, no nível meso, no qual um grupo de organizações atua em conjunto. Assim, os recursos do relacionamento interorganizacional, “ao contrário dos recursos de uma empresa individual, situam-se no conjunto das relações entre as empresas, e não dentro das próprias empresas” (Alves et al., 2010, p. 3).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora não existisse a intenção de exaurir as possibilidades de discussões e ligações entre os assuntos abordados, acredita-se que foi possível provocar o surgimento de outros

estudos que aprofundem as relações entre os aspectos encontrados na aplicação das ideias da Ecologia Industrial. Constata-se a existência de espaços para pesquisas sobre essas temáticas, conforme procurou-se evidenciar na seção introdutória deste artigo.

Nesse sentido, acredita-se que foi possível atender ao objetivo deste estudo teórico conceitual, ou seja, evidenciar a definição, as características e as escalas de atuação da EI, bem como o seu natural vínculo com o desenvolvimento sustentável. Em outras palavras, almejou-se tornar mais claros os pressupostos da EI e as suas possibilidades de aplicação, as quais envolvem tanto as trocas interorganizacionais de materiais, produtos, água, energia e resíduos quanto o intercâmbio de seus recursos humanos e tecnológicos, e de suas experiências e conhecimentos. Seu emprego é interdependente de processos de engenharia, do sistema econômico, de tributação, de regulamentação governamental, do padrão de vida do consumidor e da evolução tecnológica, entre outros fatores culturais e sociais que se estendem para além das fronteiras de apenas uma organização.

As implementações de processos de Ecologia Industrial e de seus três níveis de atuação podem ser bem-sucedidas. No entanto, é essencial compreender as suas interações e considerar os elementos culturais e sociais de cada região. Assim, sugere-se o desenvolvimento de novas investigações respeitando-se as dimensões de interdependência organizacional e contemplando abordagens sistêmicas. Recomenda-se, ainda, a evidenciação empírica das ideias aqui expressas no sentido de procurar confirmar as suposições discutidas e avaliar a possibilidade de ampliação dos exemplos apresentados. Ressalta-se que os autores deste estudo teórico conceitual estão finalizando o desenvolvimento de uma pesquisa visando ampliar empiricamente os aspectos expostos.

#### REFERÊNCIAS

- Alves, J. N., Pereira, B. A. D. e Moura, G. L. (2010), “Identificação dos avanços e tendências sobre relacionamentos interorganizacionais: uma comparação entre estudos nacionais e internacionais”, artigo apresentado no Encontro Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração, 34, 2010, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ANPAD, 2010.
- Araujo, E. S. et al. (2013), “Ecologia Industrial: um pouco de história”, disponível em: <<http://www.hottopos.com/regeq12/art2.htm>> (Acesso em 30 de maio de 2013).
- Avelino, F. et Rotmans, J. (2011), “A dynamic conceptualization of power for sustainability research”, *Journal of Cleaner Production*, Vol.19, No.8, pp. 796-804.
- Baas, L. W. et Boons, F. A. (2004), “An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems”, *Journal of Cleaner Production*, Vol.12, No.8-10, pp. 1073–1085.



- Banerjee, S. B. (2003), "Who sustains whose development? Sustainable development and the reinvention of nature", *Organization Studies* Vol.24, No.1, pp.143-180.
- Barbieri, J. C. et al. (2010), "Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições", *Revista de Administração de Empresas*, Vol.50, No.2, pp. 146-154.
- Barros, M. C. L. et Rosa, C. W. (2011), "Desenvolvimento local, sustentabilidade e ecoparques industriais", em Amato Neto, J. (Org.), *Sustentabilidade e produção: teoria e prática para uma gestão sustentável*, Atlas, São Paulo, SP.
- Begon, M., Harper, J. L. e Townsend, C. R. (2007), *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*, 4 ed., Artmed, Porto Alegre, RS.
- Boons, F., Spekkink, W. e Mouzakitis, Y. (2011), "The dynamics of industrial symbiosis: a proposal for a conceptual framework based upon a comprehensive literature review", *Journal of Cleaner Production*, Vol.19, No.9-10, pp. 905-911.
- Brasil. (2012), *Contribuição da pós-graduação brasileira para o desenvolvimento sustentável: Capes na Rio+20*, Ministério da Educação, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes, Brasília.
- Bristow, Gillian; Wells, Peter. (2005), "Innovative discourse for sustainable local development: a critical analysis of eco-industrialism", *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, Vol.1 No.1-2, pp. 168-179.
- Callenbach, E. (2001), *Ecologia: um guia de bolso*, Peirópolis, São Paulo, SP.
- Cervantes, G. (2007), "A methodology for teaching industrial ecology", *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol.8, No.2, pp. 131-141.
- Chertow, M. R. (2000), "Industrial symbiosis: literature and taxonomy", *Annual Review of Energy and the Environment*, Vol.25, pp. 313-337.
- Chertow, M. R. (2007), "Uncovering" Industrial Symbiosis", *Journal of Industrial Ecology*, Vol.11, No.1, pp. 11-30.
- Chertow, M. et Ehrenfeld, J. (2012), "Organizing Self-Organizing Systems: Toward a Theory of Industrial Symbiosis", *Journal of Industrial Ecology*, Vol.16, No.1, pp. 13-27.
- Cohen-Rosenthal, E. (2000), "A walk on the human side of industrial ecology", *American Behavioral Scientist*, Vol.44, No.2, pp. 245-264.
- Costa, I. S. (2013), "O desafio das simbioses industriais: um contributo científico para o desenvolvimento de simbioses industriais: caso de estudo português", disponível em: <[http://www.3drivers.pt/Menu/Publicacoes/Apresentacoes/PhD\\_ines.aspx](http://www.3drivers.pt/Menu/Publicacoes/Apresentacoes/PhD_ines.aspx)>. (Acesso em 30 de maio de 2013).
- Costa, I. et Ferrão, P. (2010), "A case study of industrial symbiosis development using a middle-out approach", *Journal of Cleaner Production*, Vol.18, No.10-11, pp. 984-992.
- Costa, I., Massard, G., Agarwal, A. (2010), "Waste management policies for industrial symbiosis development: case studies in European countries", *Journal of Cleaner Production*, Vol.18, No.8, pp. 815-822.
- Despeisse, M. et al. (2012), "Industrial ecology at factory level: a conceptual model", *Journal of Cleaner Production*, Vol.31, pp. 30-39.
- Deutz, P. (2009), "Producer responsibility in a sustainable development context: ecological modernisation or industrial ecology?", *The Geographical Journal*, Vol.175, No.4, pp. 274-285.
- Eckelman, M. J. et al. (2011), "Teaching industrial ecology and environmental management in Second Life", *Journal of Cleaner Production*, Vol.19, No.11, pp. 1273-1278.
- Ehrenfeld, J. R. (2000), "Industrial ecology: paradigm shift or normal science?", *American Behavioral Scientist*, Vol.44, No.2, pp. 229-244.
- Erkman, S. (1997), "Industrial ecology: a historical view", *Journal of Cleaner Production*, Vol.5, No.1-2, pp. 1-10.
- Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. (2013), "Programa Brasileiro de Simbiose Industrial", disponível em: <<http://www.fiemg.org.br/Default.aspx?tabid=13193>>. (Acesso em 30 de maio de 2013).
- Ferrer, G., Cortezia, S., Neumann, J. M. (2012), "Green City: environmental and social responsibility in an industrial cluster", *Journal of Industrial Ecology*, Vol.16, No.1, pp. 142-152.
- Ferrer, G., Guide Jr, V. D. R. (2002), "Remanufacturing cases and state of the art", em Ayres, Robert U., Ayres, L., *A handbook of industrial ecology*, Edward Elgar, Cheltenham, pp. 510-520.
- Fragomeni, A. L. M. (2005), *Parques Industriais Ecológicos como Instrumento de Planejamento e Gestão Ambiental Cooperativa*, Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- Frosch, R. A. et Gallopoulos, N. E. (1989), "Strategies for Manufacturing", *Scientific American*, Vol.261, No.3, pp. 94-102.
- Gibbs, D. et Deutz, P. (2007), "Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development", *Journal of Cleaner Production*, Vol.15, No.17, pp. 1683-1695.
- Giurco, D. et al. (2011), "Developing industrial water reuse synergies in Port Melbourne: cost effectiveness, barriers and opportunities", *Journal of Cleaner Production*, Vol.19, No.8, pp. 867-876.
- Gladwin, T. N., Kennelly, J. J. e Krause, T. (1995), "Shifting paradigms for sustainable development: implications for management theory and research", *Academy of Management Review*, Vol.20, No.4, pp. 874-907.



- Graedel, T. (2006), "Industrial Ecology: definition and Implementation", em Socolow, Robert H. et al., *Industrial ecology and global change*, Cambridge University, New York, pp. 23-41.
- Hart, S. L. et Milstein, M. B. (2003), "Creating sustainable value", *Academy of Management Executive*, Vol.17, No.2, pp. 56-69.
- Heeres, R. R., Vermeulen, W. J. V. e Walle, F. B. (2004), "Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons", *Journal of Cleaner Production*, Vol.12, No.8-10, pp. 985-995.
- Hoffman, A. J. (2003), "Linking social systems analysis to the industrial ecology framework", *Organization & Environment*, Vol.16, No.1, pp. 66-86.
- Hopwood, B., Mellor, M. e O'Brien, G. (2005), "Sustainable development: mapping different approaches", *Sustainable Development*, Vol.13, No.1, pp. 38-52.
- Isenmann, R. (2003), "Industrial ecology: shedding more light on its perspective of understanding nature as model", *Sustainable Development*, Vol.11, pp. 143-158.
- Jabbour, C. J. C. et al. (2012), "Environmental management in Brazil: is it a completely competitive priority?", *Journal of Cleaner Production*, Vol.21, No.1, pp. 11-22.
- Jelinski, L. W. et al. (1992), "Industrial ecology: concepts and approaches", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol.89, pp. 793-797.
- Jung, S. et al. (2013), "A novel approach for evaluating the performance of eco-industrial park pilot projects", *Journal of Cleaner Production*, Vol.39, pp. 50-59.
- Korhonen, J. (2004), "Industrial ecology in the strategic sustainable development model: strategic applications of industrial ecology", *Journal of Cleaner Production*, Vol.12, pp. 809-823.
- Lang, T. (2003), "Food industrialization and food power: implications for food governance", *Development Policy Review*, Vol.21, No.5-6, pp. 555-568.
- Lifset, R., Graedel, T. E. (2002), "Industrial ecology: goals and definitions", em Ayres, Robert U.; Ayres, Leslie W., *A handbook of industrial ecology*, Edward Elgar, Cheltenham, pp. 3-15.
- Lima, J. C. F. (2008), *Abordagens industriais ambientais: solucionar problemas de poluição ou buscar sustentabilidade ambiental?*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Lombardi, D. R. et Laybourn, P. (2012), "Redefining industrial symbiosis: crossing academic-practitioner boundaries", *Journal of Industrial Ecology*, Vol.16, No.1, pp. 28-37.
- Marconatto, D. A. B. et al. (2013), "Saindo da trincheira do desenvolvimento sustentável: uma nova perspectiva para a análise e a decisão em sustentabilidade", *Revista de Administração Mackenzie*, Vol.14, No.1, pp. 15-43.
- Mauerhofer, V. (2008), "3-D Sustainability: an approach for priority setting in situation of conflicting interests towards a Sustainable Development", *Ecological Economics*, Vol.64, No.3, pp.496-506.
- 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, No.8-10, pp. 967-983.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2013), "OECD Workshop on waste prevention: toward performance indicators", Paris, disponível em: <<http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/WGWPR/SE%282002%291/FINAL&docLanguage=En>>. (Acesso em 01 de junho de 2013).
- Perez-Batres, Luis A., Miller, Van V. e Pisani, Michael J. (2011), "Institutionalizing sustainability: an empirical study of corporate registration and commitment to the United Nations global compact guidelines", *Journal of Cleaner Production*, Vol.19, No.8, pp. 843-851.
- Pinto-Coelho, R. M. (2002), *Fundamentos em ecologia*, Artmed, Porto Alegre, RS.
- Posch, A. (2010), "Industrial Recycling Networks as Starting Points for Broader Sustainability-Oriented Cooperation?", *Journal of Industrial Ecology*, Vol.14, No.2, pp. 242-257.
- Ramaswami, A. et al. (2012), "A Social-Ecological-Infrastructural Systems Framework for Interdisciplinary Study of Sustainable City Systems: an integrative curriculum across seven major disciplines", *Journal of Industrial Ecology*, Vol.16, No.6, pp. 801-813.
- Robinson, J. (2004), "Squaring the circle? Some thoughts on the idea of sustainable development", *Ecological Economics*, Vol.48, No.4, pp. 369-384.
- Rodrigues, S. C., Peixoto, J. A. A., Xavier, L. S. (2013), "Formação de cadeia verde de suprimento a partir da gestão sustentável de resíduos industriais: um exemplo no setor de reciclagem", *Sistemas & Gestão*, Vol.8, No.1, pp. 44-57.
- Sakr, D. et al. (2011), "Critical success and limiting factors for eco-industrial parks: global trends and Egyptian context", *Journal of Cleaner Production*, Vol.19, No.11, pp. 1158-1169.
- Tanimoto, A. H. (2004), *Proposta de simbiose industrial para minimizar os resíduos sólidos no Pólo Petroquímico de Camaçari*, Dissertação de Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Van Bommel, H. W. M. (2011), "A conceptual framework for analyzing sustainability strategies in industrial supply networks from an innovation perspective", *Journal of Cleaner Production*, Vol.19, No.8, pp. 895-904.
- Van Hoof, B. (2009), "The exchange of ideas between social science and engineering approaches to product chain indus-



trial ecology”, em Boons, Frank; Howard-Grenville, Jennifer, *The Social Embeddedness of Industrial Ecology*, Edward Elgar, Cheltenham, pp. 248-253.

Veiga, L. B. E. (2007), *Diretrizes para a implantação de um parque industrial ecológico: uma proposta para o Pie de Paracambi*, Tese de Doutorado em Planejamento Estratégico, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Veiga, L. B. E. et Magrini, A. (2009), “Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development”, *Journal of Cleaner Production*, Vol.17, No.7, pp. 653-661.

Wang, G., Feng, X e Chu, K. H. (2013), “A novel approach for stability analysis of industrial symbiosis systems”, *Journal of Cleaner Production*, Vol.39, pp. 9-16.

White, R. M. P. (1994), “The Greening of Industrial Ecosystems”, em Allenby, Braden R.; Richards, Deanna J., *The Greening of Industrial Ecosystems*, National Academy Press, Washington, pp. v-vi, disponível em: <[http://www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=2129&page=R5](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=2129&page=R5)>. (Acesso em 01 de junho de 2013).

Os autores agradecem o apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).