

## **O CONCEITO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS**

### **RESUMO**

A comunidade de gestão de desenvolvimento de produto enfrenta o desafio de responder como desenvolver novos produtos e ao mesmo tempo garantir que o resultado dessa inovação auxilie na solução do problema da sustentabilidade. A simbiose industrial surge como uma potencial alternativa. O processo, conhecido como elemento fundamental de Parques Eco-Industriais (EIPs), consiste na reutilização de resíduos por parte das empresas co-localizadas para diminuir o impacto ambiental, na tentativa de se criar um sistema fechado. Muitos estudos dessa área, apesar de proporem métodos para coletar e analisar os dados de fluxo de um EIP, não consideram que sua determinação se dá ainda na fase de desenvolvimento de produtos e que existem vários métodos/técnicas de ecodesign desenvolvidos pelos pesquisadores em gestão de desenvolvimento de produtos. Esse artigo apresenta uma revisão bibliográfica a fim de relacionar métodos/técnicas de ecodesign que considerem o processo de simbiose industrial, explorando as perspectivas dos pesquisadores de cada área. Também identifica hipóteses, problemas e temas para os pesquisadores da área de gestão de desenvolvimento de produto que se interessem por desenvolvê-los.

**Palavras-chave: Simbiose Industrial, Parque Eco-Industrial (EIP), Desenvolvimento de Produtos, Ecodesign**

### **1. INTRODUÇÃO**

Os parques eco-industriais (EIP) são uma alternativa para se responder ao desafio de produzir produtos mais sustentáveis. Eles são arranjos de empresas co-localizadas que compartilham recursos e trocam resíduos entre si, diminuindo o impacto dos produtos no meio ambiente.

Segundo Chertow (1999), o conceito de simbiose industrial (SI) é uma das características centrais de um EIP. O processo refere-se à construção de um sistema fechado “ideal” capaz de converter as saídas (output) de um processo produtivo em entrada (input) para outro, por meio de um intercâmbio de materiais, energia e água entre empresas presentes, com a finalidade de gerar um benefício mútuo maior do que aquele obtido individualmente.

A otimização do fluxo de materiais sugerido pelo conceito de SI exige um conhecimento de dados qualitativos e quantitativos a respeito do subproduto e de seu processo de produção, a fim de descobrir a viabilidade desse intercâmbio. Os pesquisadores da área de simbiose industrial têm proposto métodos para coletar e analisar os dados de fluxo em um EIP, identificando potenciais para otimização em busca de maior simbiose (GENG,Y et al., 2009; GENG,Y et al., 2012; PAKARINEN,S. et al., 2010).

O ponto de partida são os produtos e fluxos de matéria prima vigentes, correntes no momento da análise. Os autores da área não consideram porém, que esse fluxo é determinado previamente, ainda na fase de desenvolvimento dos produtos. Ao definir o conceito do produto, escolhendo materiais e processos produtivos, a equipe de desenvolvimento restringe ou amplia as possibilidades de uso e compartilhamento de insumos e resíduos.

As empresas pertencentes a um EIP alteram, portanto, o equilíbrio para níveis maiores ou menores de simbiose, conforme desenvolvem novos produtos e ou retiram produtos de seus catálogos de venda. Isso foi evidenciado por Chertow e Ehrenfeld (2012). Os autores afirmam que o desafio da literatura de simbiose industrial é desenvolver teorias que possam considerar este aspecto “dinâmico” da simbiose em um EIP.

Chertow e Ehrenfeld (2012) e Sopha et al. (2010), pesquisadores da área de simbiose, não mencionam, porém, que esse problema está relacionado ao desenvolvimento de novos produtos. Há várias técnicas para ecodesign desenvolvidas por pesquisadores em gestão de desenvolvimento de produtos. Haveria algum método ou técnica de *ecodesign* capaz de auxiliar equipes de desenvolvimento a garantir mais simbiose industrial ainda durante o desenvolvimento?

Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica e uma análise teórica a fim de responder a este questionamento. O trabalho possui dois objetivos. Primeiro, descreve o problema considerando as duas perspectivas, dos pesquisadores de simbiose e dos pesquisadores de gestão de desenvolvimento de produto. Segundo, identifica hipóteses, problemas e temas para os pesquisadores da área de gestão de desenvolvimento de produto que se interessem por desenvolvê-los.

## **2. SIMBIOSE INDUSTRIAL**

O conceito de simbiose se origina do termo biológico que descreve a relação de mutualismo entre fungos e algas. O processo de simbiose industrial consiste na aplicação desse conceito na relação entre as empresas, que reutilizam os resíduos gerados pelas outras

para diminuir o impacto ambiental, na tentativa de se criar um sistema fechado (CHERTOW, 2000).

## **2.1. EIPs como sistemas dinâmicos complexos**

Segundo Costa et al. (2010), o desenvolvimento da simbiose industrial depende do contexto formado por aspectos estruturais, culturais, políticos, espaciais e temporais, sendo estes, elementos variáveis que influenciam a prática simbiótica. As pesquisas da área iniciaram mapeando os fluxos e condicionantes em um determinado momento do tempo.

Os autores iniciais da área de simbiose, como Gertler (1995), sugeriam que as indústrias que se instalam nos parques eco-industriais estão cientes dos princípios e diretrizes a serem seguidos e estão dispostas a cooperar. As experiências de EIPs ao longo das últimas décadas demonstram, porém, que isso não ocorre na prática e eles se dissolvem.

Chertow e Ehrenfeld (2012) apresentaram uma nova visão para um EIP. Propõem que sejam analisados sob a ótica de sistemas dinâmicos (complexos e adaptativos). Empréstam conceitos de estudos sobre sistemas dinâmicos da área de administração, como Brown e Eisenhardt (1997) afirmam que a característica fundamental de um sistema complexo é a auto-organização. Como um sistema, eles são formados por componentes ou entidades em uma estrutura estável. A diferença é que a mudança no estado do sistema ocorre por meio de interações locais, entre componentes. A auto-organização é a organização resultante, que emerge desse conjunto de interações locais, entre componentes do sistema.

Para Chertow (2009), os ecossistemas industriais precisam ser analisados sob esta ótica. Cada elemento, empresa, possui forte dependência do mercado e está sujeita a transformações rápidas e não-lineares, que resultam em mudanças abruptas. As mudanças geram a necessidade de constantes interações entre os elementos do sistema e, portanto, a auto-organização regula o fluxo e a simbiose.

Tuddor et al. (2007) afirmam que isso traz "*fragilidade*" potencial para o sistema, uma vez que a relação de dependência entre as empresas não garante, necessariamente, sua sobrevivência como na simbiose natural.

## **2.2. Simbiose industrial e os impactos ambientais**

De acordo com Boeri e Longo (2011), o modelo ideal de produção das empresas participantes do EIP seria o modelo *eco-friendly*. Esse modelo propõe que o monitoramento do desempenho ambiental dos EIPs seja feito por um agente gestor, responsável por coordenar um plano ambiental implementado objetivando um benefício comum a todas as empresas.

O planejamento ambiental consiste na administração dos aspectos ligados ao uso de infraestrutura compartilhada, como reciclagem de resíduos, tratamento de efluentes, administração das redes de iluminação e água, por exemplo, gerando economia de custos, uma gestão ambiental compartilhada e infraestrutura e serviços em comum.

Assim, a aplicação da simbiose industrial geraria a diminuição da saída de resíduos do parque para a natureza, sendo uma grande vantagem em termos de impacto ambiental, apesar de não garanti-la, necessariamente. O monitoramento é uma alternativa, mas é importante notar que os fluxos são diretamente afetados pelo processo de desenvolvimento de produto.

### 3. PDP E ECODSIGN

O processo de desenvolvimento do produto (PDP) é o conjunto de atividades realizadas por em uma empresa que permitem a transformação de informações sobre necessidades dos consumidores em bens e informações para a produção, monitoramento e retirada do produto do mercado (ROZENFELD et al., 2006).

Ecodesign é o desenvolvimento de um produto, serviço ou sistema com o objetivo de minimizar o impacto ambiental (SIMON, EVANS et al. 1998). Ele pode ser visto como uma maneira de desenvolver produtos alinhados ao conceito de desenvolvimento sustentável.

Pigosso (2008) define ecodesign como uma abordagem pró-ativa de gestão ambiental voltado ao processo de desenvolvimento de produtos e cujo objetivo maior é a minimização dos impactos ambientais durante todo o ciclo de vida de um produto sem comprometer, no entanto, outros critérios essenciais como desempenho, funcionalidade, estética, qualidade e custo.

O ecodesign incorpora a avaliação sistemática das questões ambientais no PDP através de diversos métodos e ferramentas. Baumann et al (2002) identificou mais de 150 métodos e ferramentas de ecodesign para implementar o desenvolvimento de produtos sustentáveis. O design para o ambiente define uma abordagem que considera todas as fases do ciclo de vida durante a criação de novos produtos a fim de alinhar os requisitos ecológicos com os econômicos (KURK; EAGAN, 2008).

Pigosso e Rozenfeld (2012) realizaram um levantamento similar, porém, mais amplo e recente. Eles classificaram métodos e ferramentas do ecodesign existentes, em diferentes perspectivas: natureza do objetivo principal (natureza analítica, prescritiva e comparativa), tipo de ferramenta utilizada (Matriz, Guideline, Checklist, Software), natureza dos dados de entrada e saída (qualitativos e quantitativos), área de pesquisa de origem (Ecodesign e PDP), nível atual de desenvolvimento (teórico, experimental e consolidado), nível de

detalhamento (superficial, sucinto e completo), aspectos ambientais considerados (materiais, energia, substâncias químicas, resíduos sólidos, emissões gasosas, efluentes líquidos e consumo de água), fases do ciclo de vida (nenhuma, todas, uso, fim de vida, manufatura, transporte, extração de matéria-prima, manutenção e não especificado) e métodos de avaliação de impacto ambiental.

Eles concluem que os métodos/ferramentas de natureza analítica são os mais utilizados; utilizam-se matrizes em grande parte dos métodos; há um equilíbrio entre a natureza dos dados de entrada e saída necessários para a aplicação de um método/ferramenta; a origem dos métodos é principalmente na área do ecodesign; há aplicação regular pelas empresas; a maioria dos métodos é apresentada nos estudos de forma sucinta; há preocupação com os aspectos ambientais relacionados a materiais e energia; a maioria dos métodos considera todas as fases do ciclo de vida de um produto e a maioria desconsidera os métodos de avaliação de impacto ambiental.

Os autores, porém, não citam a palavra simbiose industrial. Ao diminuir o impacto ambiental esses métodos considerariam a questão da simbiose? Qual a relação entre esses métodos e as ferramentas e estudos desenvolvidos pelos teóricos da simbiose industrial? Essas são questões interessantes e indicam uma lacuna. Seria necessário e possível criarem-se métodos para apoiar o desenvolvimento de produtos que pudessem fomentar de forma ativa a simbiose industrial?

#### **4. MÉTODO DA PESQUISA**

Esta pesquisa tem como objetivo identificar se há métodos ou ferramentas que possam auxiliar equipes de desenvolvimento de produtos a garantir mais simbiose industrial durante seu desenvolvimento, tal que o produto desenvolvido contribua para níveis mais elevados do processo de simbiose para a organização. O trabalho analisa o problema considerando as perspectivas dos pesquisadores de simbiose e dos pesquisadores de gestão de desenvolvimento de produto. Ao final, é possível identificar hipóteses, problemas e temas para os pesquisadores da área de gestão de desenvolvimento de produto.

Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica e uma análise teórica a fim de responder a este questionamento. Utiliza três procedimentos metodológicos. O primeiro é a revisão bibliográfica. O segundo é a revisão bibliográfica sistemática e o terceiro a análise teórica dos métodos utilizados no processo de simbiose industrial e no ecodesign.

A revisão bibliográfica tradicional teve como objetivo definir EIPs, simbiose industrial e PDP, de forma a prover uma estrutura teórica para o trabalho e conduzir a questionamentos e problemas relativos a lacunas teóricas e práticas apropriadas para a construção da presente

investigação. Foram analisados autores clássicos do tema, tais como Chertow (2000, 2009, 2012), Côté (1998), Cohen (2000), Christensen (1998), Ehrenfeld e Gertler (1997), Gertler (1995), Gibbs e Deutz (2005), Hewes e Lyons (2008), Martin et al. (1996), Lowe (2001), Jacobsen (2006) e Pigosso e Rozenfeld (2012).

Ela permitiu caracterizar as dimensões de análise e identificar os critérios para a próxima etapa, a busca de métodos por meio da revisão bibliográfica sistemática. O objetivo desta etapa foi identificar os métodos empregados em análises de simbiose industrial. Assim, ocorreu a identificação desses métodos, seguindo a metodologia de RBS de Biolchini et al. (2005).

Por se tratar de uma avaliação rigorosa e confiável das pesquisas já realizadas dentro de um tema de pesquisa, a RBS é utilizada como instrumento para mapear e gerar uma síntese dos trabalhos já publicados de um tema específico (BIOLCHINI et al., 2007). O modelo de RBS adotado nesta pesquisa envolve as seguintes etapas: planejamento, execução e análise dos resultados. Não houve necessidade de buscas específicas dos métodos de ecodesign uma vez que foram identificados dois trabalhos com essa contribuição, um deles atualizado Pigosso e Rozenfeld (2012).

## **5. MÉTODOS EMPREGADOS EM ANÁLISES DE SIMBIOSE INDUSTRIAL**

### **5.1. Avaliação do ciclo de vida (ACV)**

A ABNT (2001) define ACV como uma técnica para a compilação e a avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo de seu ciclo de vida.

Ardente et al. (2010) sugerem que o processo de simbiose industrial está relacionado com integração de dados e cooperação entre os atores envolvidos, o que exige uma abordagem multidisciplinar na tomada de decisão. A ACV pode, portanto, representar a ferramenta de condução e de metodologias do processo de SI.

Sokka et al. (2011) quantificaram os benefícios ambientais e econômicos da SI utilizando o ACV, antes e depois da implantação do processo de simbiose industrial. Os sistemas industriais que não utilizaram a SI tinham altos valores na maioria das categorias de impactos. Ao desenvolver ou iniciar uma simbiose industrial seria importante uma análise de impacto, que considerasse os impactos na simbiose. Singh e colegas (2007) chegaram à mesma conclusão e afirmam que a ACV poderia ser aplicada também para simbioses industriais já em operação.

### **5.2. Análise de fluxo de materiais (MFA)**

A análise de fluxo de materiais é um método que fornece apoio para a tomada de decisão, em nível global, regional ou para melhoria da eficiência da produção de forma local (OECD, 1993). Também fornece dados para o cálculo de custos de uma produção e funciona como indicador ambiental e de produção (SABLOWSKI, 2008).

Para Chertow (2004), é essencial considerar o levantamento e rastreamento de materiais, água e os fluxos de energia em um ecossistema industrial. Várias ferramentas específicas foram produzidas para o monitoramento destes fluxos, tais como, análise de fluxo de materiais (MFA) e análise de fluxo de substância (SFA). Segundo a autora, o processo permite quantificar as entradas e saídas de materiais significativos de cada empresa do sistema. Os resultados são analisados para sugerir oportunidades de troca de materiais entre as empresas, bem como oportunidades para o uso mais eficiente dos recursos.

### **5.3. Método de análise hierárquica (AHP)**

O método de análise hierárquica é uma teoria geral de medida usada para derivar escalas de prioridade através de comparações par a par realizadas em matrizes, útil na tomada de decisão envolvendo multicritérios para identificar e selecionar o melhor caminho que envolve um problema de decisão complexo com diversas variáveis. O AHP, caracterizado pela sua robustez e simplicidade, permite a análise de variáveis qualitativas e quantitativas em um processo de decisão. Permite que todos os fatores importantes sejam considerados e é visto hoje como um modo eficiente de criar medidas para entidades subjetivas, podendo usá-las em um processo decisório (GRANEMANN; GARTNER, 1998; SAATY, 1991).

### **5.4. Matriz MET (MET-Matrix)**

Os problemas ambientais são identificados e relacionados com diferentes estratégias para melhoria do desempenho ambiental do produto. Os impactos ambientais são classificados nas categorias Ciclo de Materiais (M), Uso de Energia (E) e Emissões Tóxicas (T), por meio dos passos: discussão da função do produto, definição da unidade funcional e dos limites do sistema, listagem dos materiais, energia e substâncias tóxicas consumidas nas diferentes fases do ciclo de vida, e avaliação. Os resultados e os dados podem ser qualitativos quanto quantitativos. A matriz apresenta uma perspectiva do ciclo de vida e pode ser aplicada como guia a ser seguida (BYGGETH; HOSCHHORN, 2006).

## **6. MÉTODOS PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS**

Uma das primeiras estratégias utilizadas para diminuir impacto ambiental em desenvolvimento de produtos foi a reciclagem. Na década de noventa Rosemann et al. (1999) reconheceu o design para reciclagem como a única filosofia de design implementada durante todo os estágios de ciclo de vida de um produto e identificou o papel do projeto para



reciclagem como uma ferramenta para o desenvolvimento sustentável. Bârsan e Bârsan (2009) e Cândido et al (2011) deram continuidade a esses estudos, mas muita coisa mudou ao longo das últimas duas décadas.

Ao longo das últimas duas décadas tornou-se evidente que a reciclagem não é a única e nem a melhor alternativa para produtos ambientalmente corretos. Estratégias de remanufatura, reuso e mesmo a desmaterialização (evitar o uso de materiais) foram acrescentadas (VELOZZI e MANZZINI, 2002). Os métodos para diminuir o impacto ambiental foram se sofisticando e ampliou-se o “leque” de atuações e métodos, que passaram a ser conhecidos pela sigla geral de métodos de ecodesign.

Pigosso e Rozenfeld (2012) realizaram uma revisão dos métodos de ecodesign e encontraram 105 métodos com diferentes características, objetivos e resultados. Os métodos foram classificados de acordo com categorias estabelecidas pelos autores.

Na categoria aspectos ambientais considerados, há ênfase nos aspectos relacionados ao consumo de materiais e energia (75 e 62%), e uma parte considerável, 25%, considera os resíduos sólidos. Os métodos/ferramentas consideram todas as fases do ciclo de vida de um produto (49%) e 3% consideram especificamente a questão da extração da matéria-prima.

Esses aspectos são interessantes para a simbiose, pois os resíduos são um aspecto fundamental. O fato de considerarem todo o ciclo de vida também pode contribuir visto que o ciclo de vida considera o uso de todos os materiais, e, portanto a apropriação de resíduos em um parque seria contemplada.

Mas, chama a atenção o fato de não haver menção específica para a Simbiose. Por exemplo, há 3% de métodos que se propõem a aprimorar o uso de matérias-primas. Mas, os autores não identificaram métodos com o foco no aprimoramento da simbiose. Analisando o levantamento, portanto, tem-se que a relação entre métodos de ecodesign e simbiose é uma lacuna na área de desenvolvimento de produtos.

## **7. SIMBIOSE INDUSTRIAL E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

As buscas realizadas neste trabalho demonstram que não há estudos específicos e métodos de ecodesign que considerem a simbiose industrial, tanto na comunidade que estuda métodos para simbiose industrial (sustentabilidade) como na comunidade de gestão de desenvolvimento de produtos e design. Uma lacuna e uma oportunidade para explorá-la seria o estudo e proposição de métodos para fomentar a simbiose a partir de uma ação proativa, ainda no desenvolvimento de produtos.



Considerando a recente abordagem dinâmica para estudos dos EIPs, proposta por Chertow e Ehrenfeld (2012), esses métodos poderiam auxiliar na solução do problema de desequilíbrio dinâmico. Conforme uma organização desenvolve um novo produto, pode alterar as relações de simbiose. Uma empresa pode desenvolver um produto mais sustentável que diminui o impacto final, entretanto o mesmo diminui as chances de trocas simbióticas no parque, afetando o desempenho e aumentando o impacto do EIP como um todo. Métodos de ecodesign para aprimorar a Simbiose Industrial, implantados em empresas de um EIP, poderiam evitar este problema.

Seriam necessários também instrumentos gerenciais específicos que apoiassem os profissionais de desenvolvimento de produtos na verificação do nível de Simbiose existente atualmente no “ecossistema” (parque) ao qual pertencem, para considerar a simbiose industrial no processo de planejamento do portfólio de produtos e mesmo durante a concepção e especificação de um produto.

A pesquisa permitiu identificar métodos existentes e que poderiam ser utilizados para solucionar o problema. Os mais promissores são originados na área ambiental: ACV e análise do fluxo de materiais.

Ao utilizar a ACV e mapear o ciclo de vida dos produtos existentes, ou de um produto que representa uma família, a empresa estará considerando o aproveitamento de resíduos originados em empresas próximas, dentro do parque também. Se direcionar o projeto para uma melhoria, estaria, portanto, contribuindo para a Simbiose. Há dois desafios, porém. O tempo e investimentos necessários para a análise é um deles. O segundo e mais interessante é que o ótimo local no projeto de um produto, não significa o ótimo global, na simbiose de todo o parque. E não há meios para o designer ou membro da equipe de projeto conhecer o nível de simbiose em todo o parque.

O método de análise de fluxo de materiais pode ser utilizado neste caso também, com potencialidades e limitações similares ao que foi apresentado para o caso da ACV. Métodos de ACV simplificados, que combinam dados quantitativos e qualitativos, como a matriz MET (MET-Matrix), podem contribuir para a primeira barreira, mas não para a segunda.

## **8. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Métodos como a caracterização e quantificação do subproduto gerado pelo PDP já consideram alguns aspectos importantes da simbiose industrial, facilitando a gestão da informação, a otimização de subprodutos entre as indústrias e até mesmo o planejamento geográfico das indústrias inseridas nos parques eco-industriais.

No entanto, não há um método específico que permita a uma equipe desenvolver um produto, considerando a questão da simbiose. Isso é, que possam tomar decisões de portfólio de produtos que beneficie o parque industrial que a empresa pertence, fortalecendo os relacionamentos que geram simbiose e fomentando a autorregulação proposta na abordagem de sistemas dinâmicos.

Com este cenário composto pelo processo de simbiose e PDP gera-se a hipótese de que é possível construir um ecossistema industrial formado por empresas conscientes da necessidade de melhoria ambiental do sistema, e que cada empresa possui o papel fundamental na cooperação e compartilhamento de dados e serviços, gerando um benefício geral maior que a soma dos benefícios individuais se cada empresa aperfeiçoasse seu desempenho individual.

Como trabalhos futuros propõe-se o desenvolvimento de métodos para gestão de desenvolvimento de produtos e de design (métodos de ecodesign) que possam complementar os existentes, como ACV e fluxo de materiais, e ajudem a solucionar o problema. Por ser um tema recente, nota-se a necessidade de estudos que avaliem o desempenho dos EIPs, bem como a utilização e identificação de indicadores aplicáveis a realidade desses novos sistemas.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, p. 10, 2001.
- ARDENTE, F.; CELLURA M.; BRANO, V. L.; MISTRETTA M. **Life cycle assessment - driven selection of industrial ecology strategies**. Integrated Environmental Assessment and Management, v. 6, n. 1, 2010.
- BÂRSAN, L; BÂRSAN, A. **Some Aspects Concerning the Design for Recycling and Waste Minimisation**. Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental and Geological Science and Engineering, 2009.
- BAUMANN, H.; BOONS, F.; BRAGD, A. **Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives**. Journal of Cleaner Production 10, 409 – 425, 2002.
- BIOLCHINI, J.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C.; TRAVASSOS, G. H. **Systematic review in software engineering**. Rio de Janeiro, 2005.
- BIOLCHINI, J. C. A., et al. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. Advanced Engineering Informatics, v.21, n.2, p.133-151, 2007.
- BOERI, A.; LONGO, D. **Eco-Industrial Parks: Technologies and procedures for low environmental impacts**. In: 5th International Conference on Sustainable Development and Planning, SDP 2011. New Forest, v. 150, p. 177-188, 2011.
- BROWN, S.; K. EISENHARDT. **The art of continuous change: Linking complexity theory and time-paced evolution in relentlessly shifting organizations**. Administrative Science Quarterly 42(1): 1-34, 1997.

- CÂNDIDO, L.; KINDLEIN, W.; DEMORI, R.; CARLI, L.; MAULER, R.; OLIVEIRA, R. **The recycling cycle of materials as a design project tool**. Journal of Cleaner Production, 2011
- CHERTOW, M.; EHRENFELD, J. **Organizing self-organizing systems – toward a theory of industrial symbiosis**. Journal of industrial ecology, v.16(1), 2012.
- CHERTOW, M. R. **The eco-industrial park model reconsidered**. Journal of Industrial Ecology, v.2(3), p. 8-10, 1999.
- CHERTOW, M. R. **Industrial symbiosis**. In: Encyclopedia of Energy, edited by C. J. Cleveland. San Diego: Elsevier, 2004.
- CHERTOW, M. R. **Industrial symbiosis: literature and taxonomy**. Annual Review of Energy and Environment, v. 25, p. 313-337, 2000.
- CHERTOW, M. R. **Dynamics of geographically based industrial ecosystems**. In: The dynamics of regions and networks in industrial ecosystems, edited by M. Ruth and B. Davidsdottir. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2009.
- COSTA, I.; MASSARD, G.; AGARWAL, A. **Waste management policies for industrial symbiosis development: case studies in European countries**. Journal of Cleaner Production 18 (8), 815e822, 2010.
- FELICIO, M. C. **Proposta de um indicador para monitorar a evolução da simbiose industrial em parques eco-industriais**. São Carlos, 2013.
- GRANEMANN, S. R.; GARTNER, I. R. **Seleção de financiamento para aquisição de aeronaves: Uma aplicação do método de análise hierárquica (AHP)**. Revista Transportes, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 18-40, 1998.
- GERTLER, N. **Industrial ecosystems: developing sustainable industrial structures**. Unpublished master's thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 1995.
- GENG, Y.; ZHANG, P.; CÔTÉ, R.; FUJITA, T. **Assessment of the national eco-industrial park standard for promoting industrial symbiosis in China**. Journal of Industrial Ecology, v.13(1),p. 15-26, 2009.
- GENG, Y.; FU, J.; SARKIS, J.; XUE, B. **Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis**. Journal of Cleaner Production, v. 23, p. 216-224, 2012.
- MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**. São Paulo: Edusp, 2002
- OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. **Core set of indicators for environmental performance reviews**. Environment Monographs nº 83. OECD. 1993.
- PAKARINEN, S.; MATTILA, T.; MELANEN, M.; NISSINEN, A.; SOKKA, L. **Sustainability and industrial symbiosis – the evolution of a finnish forest industry complex**. Resources, Conservation and Recycling, p. 1393-1404, 2010.
- PIGOSSO, C. A. D. **Proposta de roteiros para a sistematização do uso de métodos e ferramentas do ecodesign**. In: Anais IX Engema – Encontro nacional sobre gestão empresarial e meio ambiente. Curitiba, 2008.
- PIGOSSO, D.; ROZENFELD, H. **Métodos e ferramentas de Ecodesign: revisão bibliográfica sistemática**. Produto & Produção, vol. 13 n. 1, p. 16-33 , fev. 2012.
- ROSEMAN, B.; MEERKAMM, H.; TRAUTNER, S.; FELDMANN, K. **Design for recycling, recycling data management and optimal end-of-life planning based on recycling-graphs**. Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED 99); Aug. 1999; Munich, Germany.
- ROZENFELD, H.; Amaral, D.C.; Forcellini, F.A.; Toledo; J.C.; Silva, S.L.; Alliprandini, D.H.; Scalice, R.K.. **Gestão do Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. Saraiva, São Paulo, 2006.
- SABLOWSKI, A. R. M. **Balanço de materiais na gestão ambiental da cadeia produtiva do carvão vegetal para a produção de ferro gusa em Minas Gerais**. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SAATY, R. W. **The analytic hierarchy process: what it is and how it is used?** Mathematical Modelling, Great Britain, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987. 1991?!

SIMON, M.; EVANS, S. et al. **Ecodesim Navigator. A key resource in the drive towards environmentally efficient product design.** Report published by Manchester Metropolitan University, Cranfield University and EPSRC, 1998.

SINGH, A.; LOU, H. H.; YAWS, C. L.; HOPPER, J. R.; PIKE, R. W. **Environmental impact assessment of different design schemes of an industrial ecosystem.** Resources, Conservation and Recycling 51(2): p. 294-313, 2007.

SOKKA, L.; LEHTORANTA, S.; NISSINEN, A.; MELANEN, M. **Analyzing the environmental benefits of industrial symbiosis: life cycle assessment applied to a finnish forest industry complex.** Journal of Industrial Ecology 15 (1), p. 137-155, 2011.

SOPHA, B. M.; FET, A. M.; KEITSCH, M. M.; HASKINS C. **Using systems engineering to create a framework for evaluating industrial symbiosis options.** Systems Engineering, v. 13(2), p.149-160, 2010.

TUDDOR, T.; ADAM E.; BATES, M. **Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): a literature review.** Ecological Economics, 2007.