

Ecologia Industrial: Análise de ferramentas e viabilidade.

Industrial Ecology: Analysis of tools and viability.

Railma Rochele Medeiros da Silva¹, José Ítalo Marques de Medeiros², Pedro Osvaldo Alencar Regis³, Cayo Rodrigues Nunes de Moraes⁴, Amanda Carvalho Moreira⁵.

RESUMO

A Ecologia Industrial é um processo de melhoria das atividades e processos produtivos a fim de promover uma maior produção utilizando menos energia, recursos naturais e matérias primas, sem negligenciar a importância do lucro financeiro. A Ecologia Industrial compara um ecossistema natural com o chamado “ecossistema industrial”, analogia que permite ver o Metabolismo Industrial como um ciclo que envolve produtor, consumidor e reciclador. Uma forma de gerar a troca de produtos, fazendo com que, aquilo que seria mero insumo a uma empresa, possa servir como matéria prima de outra. Este trabalho, baseado em pesquisas bibliográficas, visa fazer uma breve análise das ferramentas de gestão ambiental utilizadas na Ecologia Industrial, discutir a aplicabilidade das ações defendidas pela Ecologia Industrial, a fim de contribuir para a difusão da discussão acerca desse tema, ainda não largamente abordado.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Ecologia. Gestão ambiental. Controle.

ABSTRACT

The Industrial Ecology is an enhancement process of activities and productive processes in order to promote a greater production using less energy, natural resources and feedstock, without neglecting the importance of financial profit. The Industrial Ecology compares a natural ecosystem with the “Industrial Ecosystem”, such analogy that allows you to see the Industrial Metabolism as a cycle involving producer, consumer and recycler. One way to generate the exchange of products, causing, what would be mere input of a company, can serve as raw material for another one. This article, based on literature searches, aims to make a brief analysis of the environmental management tools used in Industrial Ecology, discuss the applicability of the actions advocated by Industrial Ecology, in order to contribute to the dissemination of the discussion on this subject, still not widely addressed.

Keywords: Sustainability. Ecology. Environmental management. Control.

INTRODUÇÃO

Desde a segunda metade o século XX (mais especificamente a partir de 1972, ano em que ocorreu a Conferência de Estocolmo) a problemática ambiental vem sendo discutida de uma maneira mais enfática, devido à progressão da legislação ambiental e de órgãos ambientais regulamentadores mais ativos. Nesse contexto é cultivada a ideia de que é possível evoluir tecnologicamente sem agredir de forma tão brutal ao meio ambiente, o que hoje em dia intitulamos por “desenvolvimento sustentável”. A Ecologia Industrial é uma corrente segmentada das ciências ecológicas, que tem como principais objetivos o combate à poluição através da prevenção, a promoção da reciclagem e reutilização de resíduos sólidos e efluentes, o uso eficaz dos recursos naturais durante o processo produtivo e o aumento da durabilidade dos produtos.

O presente trabalho tem como objetivo analisar os aspectos abordados pelas vertentes da Ecologia Industrial, fazendo uma reflexão e tomando posicionamentos críticos relacionados ao tema proposto através da explicitação de conteúdos e comparações interdisciplinares.

Para a elaboração do presente artigo foi utilizada a metodologia de revisão bibliográfica com uma gama de material teórico existente na área temática abordada. O material consultado foi composto por artigos científicos, vídeos e, principalmente, pelo livro “Ecologia Industrial: conceitos, ferramentas e aplicações” (2006).

No corpo de desenvolvimento do trabalho, o segmento “fundamentação teórica” foi subdividido nos seguintes tópicos: **Histórico**, que relata como surgiu e quem foram os percussores da Ecologia Industrial; **Conceitos**, que descreve a conceituação de termos referentes ao tema; **Princípios, metas e ferramentas da ecologia industrial**, que aborda os principais conceitos do tema, assim como analisa, compara e critica as ferramentas adotadas; **Ecologia industrial em empresas**, abordando a aplicação da corrente nas empresas; e Viabilidade econômica de Ecologia Industrial, ressaltando as possibilidades de emprego da ecologia industrial de acordo com os aspectos financeiros e os pontos em que a implantação de um sistema ecologicamente adequado pode elevar o status de uma empresa economicamente.

HISTÓRICO

Historicamente a Ecologia Industrial está baseada no estudo de sistemas e na termodinâmica. O estudo de sistemas foi desenvolvido nos anos de 60 e 70 por Jay Forrester. Donella e Dennis Meadows (1972) utilizaram análise de sistemas para simular a degradação ambiental do planeta, e previram a insustentabilidade do sistema industrial vigente.

O conceito de ecologia industrial surge na literatura, não explicitamente, desde os anos 70, alguns ecologistas, desde essa época, tinham percepção do sistema industrial como um subsistema da biosfera, e que, demandando recursos e serviços desta, devia ser analisado conjuntamente. A seguir tem-se um breve resumo dos mais importantes.

Em 1971, Eugene P. Odum escreveu *Fundamentals of ecology*, umas das referências básicas da Ecologia, na qual o autor resgata a ideia de que os sistemas humanos e, portanto os sistemas industriais, estão inseridos no ambiente.

Uma das primeiras ocorrências da expressão “ecossistema industrial” pode ser encontrada em um artigo de 1977, do geoquímico norte-americano Preston Cloud, tal trabalho foi dedicado a Nicolas Georgescu-Roegen, um defensor do estudo da economia com base Termodinâmica e pioneiro na bioeconomia.

Até 1976 as repercussões tinham sido limitadas a respeito desse tema, porém no Japão a ideia de considerar a atividade econômica no contexto da ecologia vinha se desenvolvendo, e em 1970 consolidou-se uma parceria entre Estado e indústria privada que fez deste país um pioneiro na área.

Na década de 80, no Ocidente foram surgindo diversos trabalhos, um dos mais notáveis foi a obra coletiva *Ecossistema belga*, que foi desenvolvida por uma equipe multidisciplinar formada por biólogos, químicos e economistas, que trata de ideias defendidas hoje pela Ecologia Industrial.

Robert U. Ayres foi o promissor da ideia de descrever fluxos de matéria e energia, inerentes aos processos industriais como um sistema metabólico, ele introduziu a expressão “sistema metabólico”.

O conceito de Ecologia industrial só ficou mundialmente conhecido a partir da publicação do artigo de Robert Frosch e Nicholas Gallopoulos, que foi publicado na conceituada revista *Scientific American* em 1989. Frosch e Gallopoulos trazem em seu trabalho argumentos que seja possível desenvolver métodos de produção

menos danosos ao meio ambiente, substituindo-se os sistemas isolados, por sistemas integrados, que eles chamaram de “ecossistemas industriais”. Apesar das ideias desse artigo serem consideradas o primeiro passo no desenvolvimento da Ecologia Industrial, tais ideias não foram totalmente originais.

Em 1991, a National Academy of Science considerou o desenvolvimento da Ecologia Industrial como um novo campo de estudos. Em 1994 surge o primeiro livro sobre o tema, que identifica as ferramentas da Ecologia Industrial, como o projeto para o ambiente (PMA), a avaliação do ciclo de vida (ACV) e a contabilidade ambiental.

Apesar de no início do século XXI a Ecologia Industrial já esta com pelo menos 30 anos, os sistemas industriais e os novos projetos ainda não refletem suas ideias. O grande vilão para que isso ocorra é a falta de percepção da sociedade quanto a necessidade desse tipo de projeto.

CONCEITOS

A Ecologia Industrial se alicerça e se utiliza das ideias e princípios da análise de sistemas e das leis da termodinâmica. Uma das ideias centrais da Ecologia Industrial é a da comparação entre a eficiência de um sistema industrial e um ecossistema natural, ou seja, objetiva-se conseguir, com essa comparação, que os sistemas industriais possam ter uma eficiência muito próxima, ou igual, a de um ecossistema natural, esse é o conceito fundamental da Ecologia Industrial. Para conseguir esse nível de eficiência desejado, tem-se como ideia chave a otimização dos sistemas industriais, com o objetivo de minimizar as entradas e saídas e fluxos de matéria e energia que circulam neste sistema, de forma que ele possa parecer com um ecossistema natural, passando a poder ser chamado de ecossistema industrial. A Ecologia Industrial lida com a ideia de que as indústrias são sistemas humanos e, portanto, sistemas industriais que estão inseridos no ambiente.

A ideia de considerar partes de um sistema complexo como subsistema da biosfera e analisá-lo separadamente já era recorrente, mas não era comum a análise conjunta desses subsistemas com relação a todas as suas partes, ou o mais próximo disso possível.

A Ecologia Industrial trabalha com a analogia de considerar que as indústrias são organismos e que estes participam de um ecossistema industrial inserido na

biosfera, com isso deve-se tentar ao máximo, por exemplo: criar sistemas de reciclagem tão fechados quanto o possível que, assim como os ecossistemas naturais, os ecossistemas industriais sejam sustentados de forma que o Sol seja a única fonte externa a esse sistema.

O objetivo da Ecologia Industrial é, em suma, formar uma rede de processos industriais mais elegante e com menos desperdício.

PRINCÍPIOS, METAS E FERRAMENTAS DA ECOLOGIA INDUSTRIAL.

A Ecologia Industrial propõe um equilíbrio entre os sistemas industriais e ecológicos, visando transformar o processo de produção em um ecossistema fechado. Neste ecossistema industrial os fluxos de matéria e energia ficam inseridos em um ciclo de reaproveitamento, reduzindo assim, o impacto ambiental de produtos e serviços e a geração de resíduos.

Um ecossistema industrial é a transformação do modelo tradicional de atividade industrial, no qual cada fábrica, individualmente, demanda matérias-primas e gera produtos a serem vendidos e resíduos a serem depositados, para um sistema mais integrado, no qual o consumo de energia e materiais é otimizado e os efluentes de um processo servem como matéria-prima de outro. (FROSCH & GALLOPOULOS, 1989).

Na composição da ecologia industrial são utilizados conceitos já existentes, como a Produção Mais Limpa e a Prevenção da Poluição, atrelados a um novo sistema de organização e planejamento industrial, que vai além das atividades industriais restritas ao setor produtivo. Com essa visão mais ampla, abrange desde uma dimensão mais interna – no que diz respeito às vantagens econômicas e ambientais para a empresa – a outra mais externa, ao propor um sistema de integração ente indústrias e uma nova forma de gerenciamento com base na sustentabilidade.

Um dos princípios da Ecologia Industrial é a troca de materiais, energia e serviços entre diferentes indústrias, fazendo com que o resíduo que é gerado em uma fábrica, sirva como matéria prima no processo produtivo de outra, a fim de minimizar ou até mesmo impedir a geração daquele tipo de resíduo. Ou seja, a ecologia industrial faz o uso de algumas ferramentas e estratégias para evitar o desperdício de materiais e energia, encontrando maneiras de incorporá-los de volta aos ciclos produtivos.

São várias as ferramentas que auxiliam e fazem parte do processo proposto pela ecologia industrial. Cada uma dessas ferramentas, de forma e abrangência distintas, estão inseridas nesse contexto com o mesmo intuito e baseadas nos mesmos princípios sustentáveis, que são:

- Produzir sem desperdícios e emissões;
- Possibilitar a produção industrial de modo a não alterar o equilíbrio do meio ambiente;
- Identificar e caracterizar as possíveis fontes de impactos ambientais;
- Acompanhar e gerenciar a geração de resíduos e rejeitos em todas as etapas do processo de produção;
- Utilizar maneiras eficazes de tratamento e disposição final de resíduos;
- Fechar os ciclos de matéria e energia entre indústrias;
- Produzir mais, utilizando menos;
- Reduzir ou eliminar o uso de substâncias tóxicas, inflamáveis ou explosivos;
- Incluir fluxos de reciclagem quando possível;
- Escolher materiais mais adequados, com base em seu ciclo de vida;
- Maximizar o uso de fontes renováveis de energia.

As ferramentas que fazem parte da Ecologia Industrial são de extrema importância para o sistema. A escolha de qual delas utilizar varia de acordo com a necessidade da empresa e suas características, como tipo e quantidade de resíduos gerados, energia utilizada no processo, metas e Política Ambiental, investimento disponível para implantar essas ferramentas, entre outras. Ao analisar esses fatores, pode-se escolher a melhor alternativa para aquela empresa. Algumas opções de estratégias e ferramentas se destacam entre as outras por sua eficiência, abrangência ou popularidade.

Final de tubo

Essa é uma técnica tradicional de combate à poluição que visa o tratamento de efluentes e resíduos gerados no processo de produção da maneira mais adequada e acessível possível. Este é, portanto, um método reparador, já que atua após esses resíduos serem gerados. Para isso, são criadas várias tecnologias para melhor tratar e dispor os resíduos, que incluem o tratamento do ar, da água e de resíduos sólidos em geral.

Essa técnica conta com auxílio de sistemas químicos, biológicos e físicos para tratamento desses efluentes. Há vários métodos que seguem a lógica do Final de Tubo (End of Pipe), para cada tipo de resíduos que se deseja tratar. Para a escolha do melhor método a ser utilizado em cada caso, deve ser analisada, entre outros fatores, a disposição financeira da empresa.

Sistema de Gestão Ambiental (SGA)

O SGA visa monitorar as entradas e saídas de materiais, além aplicar o controle ambiental em todas as operações da empresa e propor um planejamento a curto e longo prazo de ações necessárias para melhoria de todo o sistema industrial da forma mais abrangente possível. Esta é, portanto, uma ferramenta prioritariamente de intervenção preventiva.

Essa ferramenta lida também com a previsão de aspectos e impactos ambientais gerados pelas atividades da empresa, possibilitando a criação prévia de alternativas para minimizar e reparar esses efeitos, ao propiciar a adoção de medidas de proteção ambiental já direcionadas ao tipo de impacto específico. O Sistema de Gestão Ambiental não é obrigatório, mas traz vantagens às empresas que o implantam, como uma maior eficiência no uso de reservas naturais; redução na geração de resíduos; melhoria da imagem da empresa; crescimento da consciência ecológica dos funcionários; maiores lucros, decorrentes da adoção de medidas mais eficientes.

Ecoeficiência

A Ecoeficiência obedece ao lema “produzir mais com menos” e é alcançada pela redução progressiva dos impactos ambientais e do uso de recursos à uma capacidade suportável para o planeta, atrelada à produção de bens e serviços a preços competitivos. Entre as ideias centrais desse método, podemos destacar:

- Reduzir a dispersão de materiais tóxicos;
- Reduzir a quantidade de matéria e energia em bens e serviços;
- Aumentar a reciclagem;
- Aumentar o uso de fontes renováveis;
- Aumentar a qualidade e durabilidade dos produtos;
- Aumentar a quantidade de bens e produtos.

A Ecoeficiência permite desfazer a imagem que existe de que o crescimento econômico sempre acarreta impacto ambiental, além de trazer uma série de vantagens para a empresa que adota esse método, são elas: apresentar regulamentações ambientais mais severas; agradar a comunidade com seu desempenho ambiental; gerar crescimento na demanda por produtos produzidos de forma mais sustentável; atender aos padrões internacionais.

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Esse é um método utilizado para analisar o impacto ambiental causado por um certo produto ou serviço durante toda sua vida. Com a ACV é possível qualificar e quantificar os fluxos de energia e matérias que ocorrem ao decorrer da vida do produto, processo ou atividade.

Para isso, a Avaliação do Ciclo de Vida precisa analisar todos os processos envolvidos ao bem ou serviço, incluindo a extração, processamento de matérias primas, fabricação, transporte, distribuição, uso ou operação, manutenção, reutilização, reciclagem e disposição final. Em outras palavras, a ACV é a avaliação das entradas, saídas e do impacto ambiental de um produto ao longo de sua existência e uso, de forma holística.

Rótulo ecológico

Os Rótulos Ecológicos são certificações de produtos ou serviços que apresentam algum benefício ao meio ambiente. Esse artifício visa incentivar a procura por bens e serviços que causem menos danos ao ambiente. Essas certificações não são obrigatórias, mas sim, adquiridas voluntariamente pelas empresas que querem atestar o seu desenvolvimento ambiental, a sua atuação na economia e a produção de maneira sustentável.

Esse método traz vantagens para as empresas que o adotam, pois gera uma competitividade ecológica. Com esses rótulos, as empresas se tornam mais interessantes se comparadas a outras que não possuem rótulos e, conseqüentemente, ganham a preferência de clientes e investidores.

A partir desse método, os consumidores dos produtos ou serviços rotulados também estão atuando com consciência ecológica, podendo adotar novas atitudes sustentáveis. Os rótulos possibilitam que os clientes e consumidores façam essa escolha, podendo optar por produtos menos nocivos ao meio ambiente e, assim,

incorporar elementos e aspectos ambientais no dia-a-dia, o que acaba por se tornar uma forma de educação ambiental.

Prevenção da Poluição (PP OU P2)

Criado pela Agência de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency – EPA), dos Estados Unidos da América, o Programa de Prevenção à Poluição surge para atender às necessidades que o modo tradicional de combate à poluição não consegue suprir. O combate à poluição, em sua forma mais tradicional, ocorre após os mesmos já terem sido gerados (intitula-se este procedimento como “fim de tubo”) e isto foi identificado como um problema. A PP – ou P2 – almeja a minimização da poluição e, conseqüentemente, dos impactos ambientais nos processos produtivos, segundo a EPA, por meio de algumas diretrizes tais como: a redução ou eliminação de materiais tóxicos, a substituição de materiais por outros de feitiço mais sustentáveis durante os processos produtivos e a implantação de ciclos fechados de reciclagem. Este último citado, entretanto, requer um pouco mais de atenção devido ao fato de estar entre uma das grandes e polêmicas diferenças entre a Prevenção da Poluição (assim como da Produção Mais Limpa) em si e a Ecologia Industrial.

Alguns estudiosos consideram a Ecologia Industrial como um “mix” de ferramentas de combate à poluição (como PP e PML) e direcionam suas críticas baseando-se na afirmativa de que a Ecologia Industrial não demonstra resultados tão gratificantes quanto as outras duas ferramentas citadas anteriormente. Afirma-se também que a fundamentação teórica é vaga, uma vez que há muito tempo não existem ecossistemas intactos ambientalmente que possam servir como base argumentativa para a teoria do tão criticado tema (CROMMONER, 1997). Além da valorização da reciclagem, a ecologia industrial, segundo Oldenburg e Geiser (1997) expõe o processo produtivo a maiores riscos. Este perigo ocorre por razão da admissão da produção e transporte de produtos perigosos, com o objetivo de utilizá-los em outros processos ou na reciclagem.

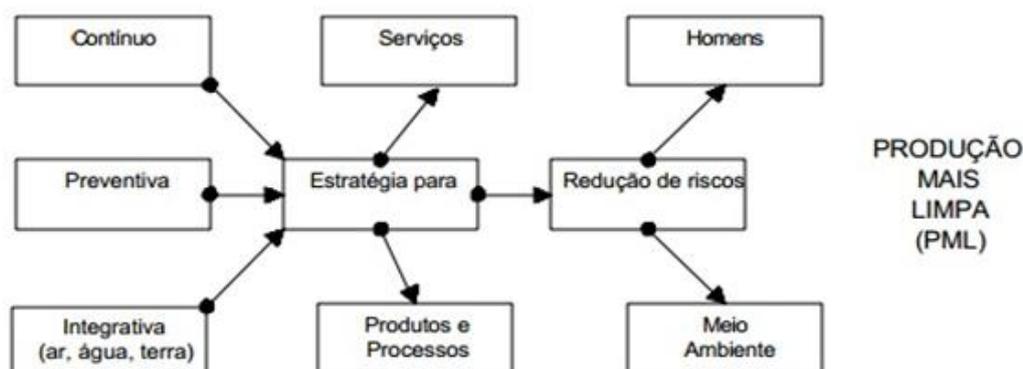
A PP só utiliza-se da reciclagem em ciclo fechado, ou seja: o resíduo é reutilizado no próprio processo e não em ambientes externos à produção, diferentemente do que é empregado na ecologia industrial. Não se estima que os programas de P2 abranjam a reciclagem em ciclo aberto (realizada em ambientes externos para a produção de um produto virgem) ou o tratamento de resíduos

sólidos e efluentes, pois se acredita que estas práticas não sejam de prevenção, mas de remediação da poluição.

Produção Mais Limpa (PML)

Lançada do fim da década de 1980 pela United Nations Environment Program (UNEP), o termo “Produção Mais Limpa” teve a seguinte definição: “é a aplicação continuada de uma estratégia ambiental preventiva e integrada aos processos, produtos e serviços, a fim de aumentar a eficiência na produção e reduzir os riscos para os homens e o ambiente” (Figura 1) (UNIDO/UNEP, 1995a, p.4).

Figura 1 –Elementos essenciais da definição da PML.



Fonte: Unido/UNEP, 1995a, p.5

Entende-se da própria expressão “Produção Mais Limpa” que não se pode existir uma forma de produção inteiramente limpa, sustentável e com zero geração de resíduos, entretanto existem tecnologias e processos industriais mais viáveis do que outros no que se refere ao “bem-estar ambiental”. Assim como discutido na PP, não se considera PML as práticas de “fim de tubo”, como a reciclagem e o tratamento de resíduos, já que estas são atividades corretivas e não preventivas. A PML tem como foco a intervenção em cada processo isoladamente, diferente do que acontece na Ecologia Industrial e coloca a reciclagem externa como um mecanismo de última consideração.

Tanto a PML quanto a PP ou P2 são ferramentas preventivas de controle da poluição, entretanto têm estratégias diferentes (mesmo que não divergentes). Algumas das estratégias pertencentes à Produção Mais Limpa são o desenho de produtos que permitam sua execução prática com o mínimo de desperdício de matéria-prima possível e a maximização da eficiência energética visando à diminuição de impactos ambientais. A implantação destas práticas não se refere somente à responsabilidade social e ética de cada empresa, engloba também jogos de interesse no que se diz respeito à competitividade comercial interna e, principalmente, externa ao país.

Faz-se necessário ressaltar que, tendo em vista que nenhuma ferramenta é considerada perfeita, a PML possui alguns entraves à sua execução. Segundo Schmidheiny, são três as barreiras existentes para a implantação da ferramenta citada anteriormente, são elas: as preocupações econômicas, a falta de informação e a postura dos gerentes. Englobadas por estes três impedimentos, as barreiras podem ter origens organizacionais, sistêmicas, comportamentais, econômicas, tecnológicas ou governamentais (Sethi apud Berkel, 1995). O quadro a seguir expõe algumas das barreiras existentes, em geral, de caráter interno ou externo às empresas, enfatizando as de pequeno porte.

Tabela 1 - Barreiras na implantação da PML em empresas de pequeno porte.

Barreiras	Internas	Externas
Organizacionais	Falta de participação dos trabalhadores; falta de poder na tomada de decisões	Falta de mão de obra qualificada
Sistêmicas	Falta de planejamento	Pouca pressão de políticas ambientais
Comportamentais	Indiferença às questões ambientais; resistência à mudança; falta de liderança; medo de fracassar	Pouca consciência ambiental

Econômicas	Planos de investimento inadequados	Falta de políticas de impostos para empresas pequenas
Tecnológicas	Falta de infraestrutura e de pessoal técnico treinado	Informações limitadas sobre tecnologias
Governamentais	-	Ênfase na abordagem de “fim de tubo”; falta de política industrial

Fonte: Adaptado de Sethi apud Berkel, 1995, UNIDO/UNEP, 1995c.

Embora sejam consideradas por muitos como complementares, a PML e a ecologia industrial diferenciam-se em alguns pontos. A primeira, assim como a segunda citada, defende a redução de impactos na fonte geradora, entretanto, as duas correntes consideram a fonte de maneiras distintas. Na PML considera-se como fonte cada etapa de um processo produtivo, enquanto na ecologia industrial a fonte considerada é um conjunto de processos ou indústrias.

Novamente, a ênfase dada pela Ecologia Industrial à reciclagem diverge do que prega a Produção Mais Limpa. Diante desta importância dada à reciclagem, a exigência na eficácia por parte da ecologia industrial em cada material utilizado em um processo é menor do que em uma corrente mais preventiva, como a PML. Enquanto em uma evita-se a todo custo a geração de resíduos em cada processo (PML), em outra esta geração pode até mesmo ser intensificada, caso constata-se que o resíduo pode ser viável como matéria-prima para outro processo produtivo. A partir daí, vale salientar também que um dos pontos fracos da Ecologia Industrial é a defesa da flexibilização das leis ambientais, uma vez que estas podem inviabilizar a prática de seus princípios (no que diz respeito à reciclagem e manuseio resíduos perigosos, por exemplo). Esse ponto defendido pela ecologia industrial é considerado como fraco sob a ótica de que uma indústria não pode determinar o que é ou não ambientalmente adequado, tendo em vista que é guiada também por interesses econômicos. A legislação ambiental não deve sofrer regressões no que diz respeito às suas exigências legais e segundo Michael Porter (Porter e Linde, 1995a, b), a mesma contribui não só para a preservação do meio ambiente, mas para o aumento da competitividade.

Projeto para o Meio Ambiente (PMA)

Conforme já discutido, muitos impactos ao meio ambiente podem ser evitados ou minimizados de modo preventivo. Com as devidas estratégias, os danos podem ser reduzidos ainda na fase de projeção de um produto. O Projeto para o Meio Ambiente (PMA) analisa o ciclo de vida do produto e indica as mudanças necessárias, da produção à disposição final, objetivando a diminuição de impactos ambientais em cada etapa do ciclo de vida de um produto. A equipe elaboradora destes projetos, ou mesmo o projetista, deve obter o mais próximo do total conhecimento do fluxo da produção dos materiais, da extração ao descarte, para utilizar-se de materiais que facilitem a reciclagem e o desenvolvimento sustentável nos sistemas de produção.

O desenvolvimento de um produto, de acordo com o PMA, pode levar em conta algumas das considerações a seguir: o produto deve ser entendido como ambientalmente correto por todo o seu ciclo de vida; escolher os materiais adequados segundo a ACV; maximizar a utilização de fontes renováveis de energia; aumentar a vida do produto; evitar o superdimensionamento de materiais; utilizar-se de produtos recicláveis ou reutilizáveis; para a redução ou eliminação de materiais virgens; e melhorar a logística de distribuição, diminuindo a necessidade e os gastos de transporte. (ALMEIDA e GIANNETTI, 2006)

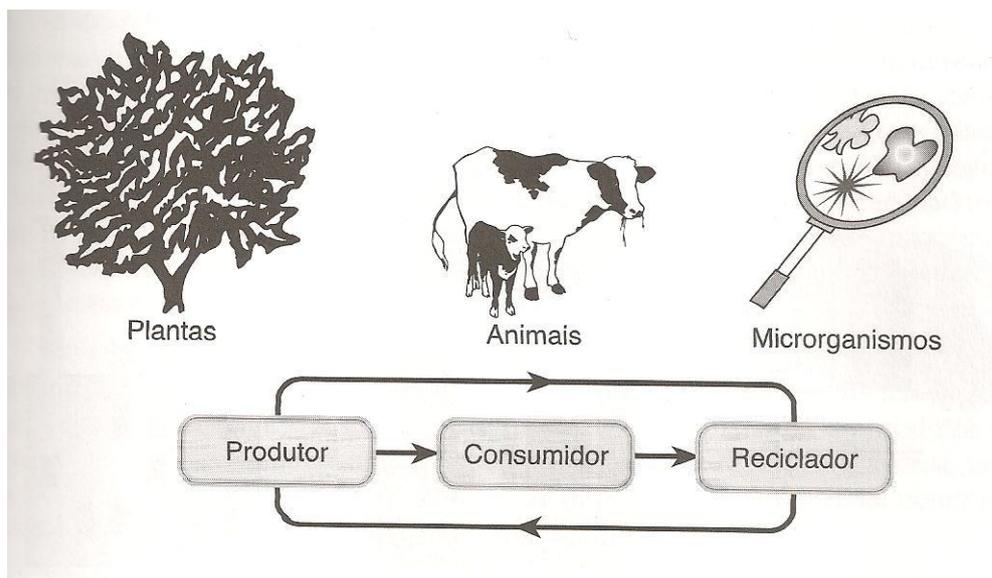
A Ecologia Industrial visa diminuir os impactos gerados devido à utilização de recursos naturais através da desmaterialização, ou seja: a redução de material por unidade de produto e a maior rotatividade de um material antes de seu descarte final (através, por exemplo, da reciclagem). O PMA é mais uma ferramenta auxiliar neste processo, pois atende as duas diretrizes citadas por meio de ações que minimizam o uso de matéria-prima, somente comprometendo o desempenho do produto de uma forma mais eficaz. Estas ações podem ocorrer em diversos sentidos e um deles é o de prolongamento da vida útil de um produto. Aumentando a durabilidade, podem-se introduzir mudanças no projeto, como o incentivo à mudança cultural e o adiamento do descarte de um produto e, com estas alterações, podem aparecer as seguintes ações, respectivamente: incentivo ao uso de produtos duráveis e a facilitação na substituição de peças/manutenção de um produto. (ALMEIDA e GIANNETTI, 2006).

ECOLOGIA INDUSTRIAL EM EMPRESAS

Com uso de ferramentas para minimizar a poluição, o conhecimento do processo produtivo acaba sendo aprofundado, podendo ocorrer planejamentos para a realização de ações a longos prazos.

A Ecologia Industrial em empresas faz uma analogia em relação à interação do ecossistema industrial com o meio ambiente, conhecido como o ciclo biológico.

Figura 2 – Ciclo biológico.

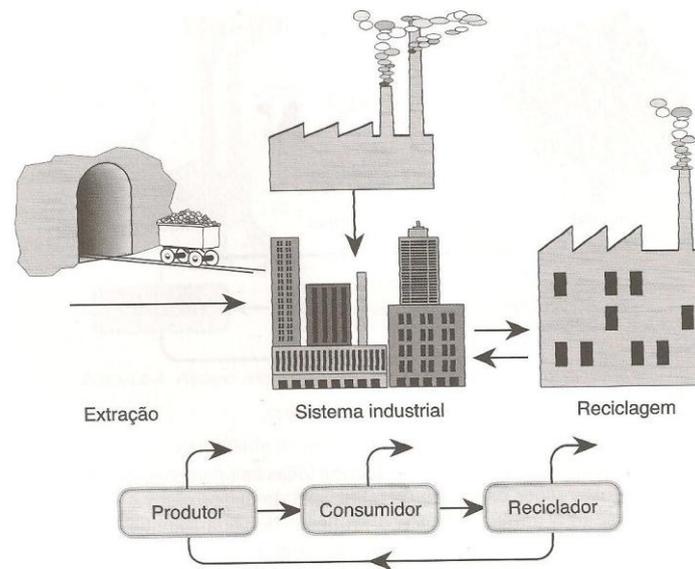


Fonte: ALMEIDA & GIANNETTI, 2006, p.21

De acordo com ALMEIDA (2006, p.21), no meio ambiente temos de forma geral de como podemos ver a figura os produtores, os consumidores e os recicladores. Os produtores são aqueles que têm a capacidade de produzir o seu próprio alimento, como é o caso das plantas. Já os consumidores são aqueles que obtêm sua fonte de energia através dos produtores. Os recicladores ou decompositores são aqueles que degradam a matéria orgânica – tanto de produtores quanto de consumidores em substâncias inorgânicas – que retornam ao início do ciclo, pois podem ser usadas como alimento pelos produtores. No ciclo biológico, temos uma cadeia fechada, pois a matéria é reutilizada e sem perdas, retornando ao ciclo enquanto houver energia.

O processo de Ecologia Industrial tem um sentido parecido com o ciclo biológico. Vejamos a figura abaixo.

Figura 3 – Metabolismo Industrial (ciclo de uma empresa).



Fonte: ALMEIDA & GIANNETTI, 2006, p.21

Segundo ALMEIDA & GIANNETTI (2006, p.22) no processo industrial, há o produtor, o consumidor e o reciclador. O produtor é aquele que produz a matéria-prima e a energia. Os consumidores são as empresas (que utilizam o que foi gerado pelos produtores) e os recicladores seriam os processos de reciclagem e de tratamentos dos rejeitos.

Como se pode observar, diferentemente do ciclo biológico, no ciclo industrial há uma cadeia aberta, pois nem tudo que é gerado volta para o sistema produtivo. Sempre que se exerce uma atividade em uma indústria, há a possibilidade de geração de resíduos. Na figura anterior, as setas superiores que saem de cada etapa seriam os subprodutos e os resíduos gerados em cada processo. Esses subprodutos são eliminados, não voltando ao processo produtivo.

A Ecologia Industrial tenta minimizar a geração dos resíduos, propondo que estes subprodutos de cada empresa sirvam como matéria-prima para outra e assim por diante. Esse sistema de cooperação entre as empresas ficou conhecido como “Metabolismo Industrial”.

Como exemplo prático do uso da Ecologia Industrial, podemos citar o exemplo do parque industrial de Kalundborg, na Dinamarca (ALMEIDA, 2006). Neste parque, para a redução da quantidade de resíduos, as empresas são altamente integradas,

usando o resíduo que é produzido em outra indústria como matéria-prima ou fonte de energia.

Para a realização desse projeto é preciso levar em consideração alguns fatores que puderam proporcionar essa harmonia:

- Em primeiro lugar, há uma geográfica entre as indústrias, que facilita o transporte de materiais (diminui os riscos) e reduz o uso de energia e combustíveis para o deslocamento dos resíduos;
- Em segundo lugar, existe um acordo comercial entre as empresas visando não somente os ganhos ambientais, mas também os econômicos;
- Por fim, a cooperação de cada empresa se deu de forma voluntária.

No processo produtivo deste parque industrial, pode-se observar uma interação de diversas empresas de ramos diferentes, que reutilizam os resíduos das outras. A interação entre as indústrias demonstra um sistema sólido com o beneficiamento de todas.

Alguns resultados fazem o processo ser ambientalmente e economicamente viável. A redução da emissão dos poluentes, redução dos efluentes, redução do uso de matéria-prima, água e energia mostram que, com a interação das indústrias, os impactos ambientais são minimizados, pois o impacto que cada empresa produziria sem os princípios da Ecologia Industrial seria muito maior do que com a rede de interação de indústrias. No quesito econômico, a redução no deslocamento para outras empresas e a redução da disposição dos resíduos evitam gastos extras, caracterizando a Ecologia Industrial como uma prática vantajosa e atrativa.

VIABILIDADE ECONÔMICA DA ECOLOGIA INDUSTRIAL

Os grandes paradigmas da Ecologia Industrial são referentes às relações de desmaterialização (uso de menor quantidade de matérias primas), diminuição da poluição, maior aproveitamento dos recursos durante todo seu período útil e sustentabilidade em longo prazo com viabilidade financeira.

A sustentabilidade em longo prazo é algo intimidador para as indústrias, uma vez que o lucro em curto prazo é sempre preferido pelos empreendedores. É preciso discernimento para avaliar que, se aplicada de forma eficiente, a Ecologia Industrial traz benefícios financeiros significativos.

O caminho à viabilidade econômica e ambiental produzida a partir da aplicação de estratégias da Ecologia Ambiental se dá principalmente em ações que visam o mais eficaz aproveitamento dos recursos naturais. Uma das formas mais utilizadas para potencializar os processos produtivos de uma indústria e diminuir a utilização de recursos virgens é a troca de produtos. O que, anteriormente, seriam meros insumos a uma empresa, podem servir como matéria prima para outra e vice-versa.

O exemplo clássico e mais conhecido da Ecologia Industrial é o parque industrial da Kalundborg, na Dinamarca. As empresas que compõem o parque são altamente integradas, possuem um acordo comercial entre elas, a cooperação é voluntária, são fisicamente próximas e utilizam os resíduos umas das outras como fonte de energia e matéria-prima.

Os participantes vão desde grandes empresas, como a *Asnæsværket* e a Refinaria Statoil – as maiores do país –. A Novo Nordisk é uma indústria de biotecnologia com 45% do mercado mundial de insulina e 50% do de enzimas. Já a Gyproc, fabricante de divisórias, é uma empresa de porte médio que emprega 175 trabalhadores. Além da interação entre pessoas, o reaproveitamento de material e energia também favorece a sociedade local. O lodo gerado no tratamento de efluentes é utilizado como fertilizante pelas fazendas das vizinhanças e na criação de peixes. As cinzas geradas pela termoelétrica entram na pavimentação de estradas; e os fluxos de calor são utilizados para manutenção de estufas e para o aquecimento da cidade. (ALMEIDA, 2006).

O resultado dessa cooperação é a redução do consumo de energia, redução de emissões de dióxido de carbono (CO₂) e de enxofre (SO₂), redução do volume de efluentes líquidos e reaproveitamento de resíduos tradicionais, como enxofre, cinzas e lodo. A conclusão mais significativa de Kalundborg é que esse arranjo pode ser aplicado a outros setores, apresentando resultados igualmente benéficos, tanto para as empresas como para o ambiente.

No Brasil, mais precisamente no Rio Grande do Sul, tem-se o exemplo das indústrias mineradoras, geradoras de significativas quantidades de resíduos. O aglomerado de resíduo formado pela mineração pode conter grande quantidade de enxofre e, em contato com água, geralmente pluvial, pode ocasionar uma perigosa drenagem ácida.

Outra fonte geradora de resíduos são os curtumes, indústrias que utilizam cromo para transformação de peles em couro e que, nesse estado em questão, segundo a Associação da Indústria de Curtumes do Rio Grande do Sul, totalizam 30% das exportações de couro brasileiro. Os resíduos desse processo possuem sais de cromo, elemento de grande risco ambiental quando descartado no solo e na água.

Essas duas atividades distintas consistem em outro bom exemplo de interação, pois o uso dos resíduos da mineração para tratamento dos efluentes dos curtumes pode atenuar a drenagem ácida por descartes de sulfetos minerais, enquanto auxilia na remoção do cromo de efluentes de curtume, ao mesmo instante que promove à indústria de couro insumos de tratamento de baixo custo e evita penalizações por parte de órgãos de controle ambiental.

O grande benefício econômico gerado pela Ecologia Industrial é a divisão de despesas. Retornando o exemplo das indústrias de mineração agindo em conjunto com os curtumes, se isoladas, uma empresa arcaria com o custo da remoção e do combate à drenagem ácida e a outra arcaria totalmente com o custo de aquisição e transporte de insumos para retirada do cromo. Utilizando os preceitos da Ecologia Industrial, ambas dividiriam parte dos custos envolvidos no processo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Ecologia Industrial, que é um campo de conhecimento e estudo relativamente novo, vem buscando artifícios para harmonizar as relações industriais e ambientais de forma efetiva. Percebemos, ao longo da construção do trabalho, a importância desse sistema para os meios de produção e serviços, que além de obterem vantagens econômicas, geram também benefícios ao meio ambiente. A Ecologia Ambiental, apoiada nas ferramentas que seguem seus princípios e metas, se tornam muito eficientes quando aplicadas em empresas da maneira correta. Cada uma delas com suas limitações e características, ajudam a compor um sistema industrial realmente ecológico, como na metáfora da Simbiose Industrial, formando um ecossistema industrial.

Entretanto, apesar de todas as vantagens obtidas por meio da Ecologia Industrial, alguns princípios nos quais ela é subsidiada nos parecem impossíveis de ser alcançados. Um exemplo disso está no fato de um desses princípios visar um

ciclo fechado no que diz respeito aos fluxos de materiais e energia, o que na realidade é inalcançável. O ideal, proposto pela Ecologia Ambiental, seria que nos processos de produção de bens e serviços, toda matéria, insumos e energia que entrassem no processo fossem aproveitados preferencialmente dentro da própria empresa e posteriormente esses resíduos deveriam ser repassados para outra indústria, onde serviria como nova matéria prima ou novo insumo no processo produtivo. Porém, sabemos que qualquer atividade humana gera resíduos, fazendo com que esse processo ocorra, com vantagens, mas não da forma concreta como esperado pela Ecologia Industrial.

Por fim, é necessário salientar a importância de mais estudos a respeito desse tema e esperamos que, após a realização desse artigo, surjam novas pesquisas a fim de explorar mais aspectos da Ecologia Industrial, ressaltar a importância da implantação desses sistemas em empresas e até mesmo pesquisas que venham a aprimorar as ferramentas e maximizar o desempenho ambiental obtido com elas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, C. M. V. B., GIANNETTI, Biagio F. **Ecologia Industrial**: conceitos, ferramentas e aplicações. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2006.
2. COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1987.
3. Costa, M. M. **Princípios de Ecologia Industrial Aplicados à Sustentabilidade Ambiental e aos Sistemas de Produção de Aço**[DISSERTAÇÃO DE DOUTORADO]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.
4. ERKMAN, S. **Industrial ecology**: an historical view, [s.l.], *J. Cleaner Prod.*, v.5, n. 1/2, 1997.
5. LEMOS, A. D. C. **A Produção Mais Limpa como geradora de inovação e competitividade**: o caso da fazenda do tigre[DISSERTAÇÃO DE MESTRADO]. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.
6. MARINHO, M.; KIPERSTOK, A. **Ecologia Industrial e Prevenção da Poluição**: Uma contribuição ao debate regional. *TECBAHIA*, v.10, n4. 2001.