

Revista de Graduação da Engenharia Química

ISSN 1516-5469

ANO VI No. 12 Jul-Dez 2003

A Indústria Química no contexto da Ecologia Industrial

Biagio F. Gianneti e Cecilia M. V. B. Almeida

Universidade Paulista
LaFTA – Laboratório de Físico-Química Teórica e Aplicada
R. Dr. Bacelar, 1212, CEP 04026-002, São Paulo, Brasil

Introdução

A Ecologia Industrial é uma nova abordagem que, com menos de vinte anos, já é amplamente reconhecida devido à forma sistêmica com que analisa o sistema industrial, seus produtos, resíduos e as interações destes com o meio ambiente.

A indústria química é a maior responsável pela dispersão de substâncias tóxicas no meio ambiente e torna-se urgente e necessário promover mudanças na forma de tratar os problemas ambientais [1]. Remediar e controlar os poluentes não é mais suficiente, deve-se direcionar os esforços no sentido de reduzir e, principalmente, prevenir o descarte de substâncias nocivas ao ambiente.

O conhecimento de tecnologias amigáveis ao meio ambiente e estratégias para prevenir e minimizar o dano ambiental causado pelos processos químicos tem ganho considerável importância, em especial no que concerne às novas habilidades exigidas dos engenheiros químicos. A integração destas tecnologias e estratégias ao curriculum dos engenheiros químicos é, hoje, essencial e o aprendizado das novas abordagens que vêm surgindo nas últimas décadas deve ser distribuído por toda a grade curricular da Engenharia Química.

Neste contexto, o curso de Engenharia Química deverá incorporar os seguintes objetivos:

- (1) conscientizar os estudantes quanto ao custo real da operação de um processo que descarta poluentes no ambiente, tanto o custo econômico como o custo ambiental; o que significa não somente considerar o custo de tratamento ou o custo relativo ao atendimento da legislação vigente, mas também o custo dos recursos da natureza utilizados na produção e o trabalho da natureza para a absorção/degradação dos resíduos;
- (2) apresentar as principais estratégias para minimizar/evitar impactos devidos a um determinado processo químico;
- (3) oferecer a oportunidade de projetar e analisar processos que utilizam tecnologias amigáveis¹ ao meio ambiente, como as que visam a eliminação dos poluentes e o uso de matérias primas renováveis.

O sistema industrial vem respondendo ao problema da poluição com soluções que vão desde o simples controle dos efluentes, passando por programas de prevenção à poluição, pelos conceitos de produção mais limpa e eco-eficiência, até a proposta mais refinada de estudar a interação do sistema industrial com o meio ambiente. O diagrama abaixo mostra, simplificada, as várias transformações pelas quais a forma de tratar materiais, energia e resíduos vem passando nas últimas décadas. Apesar de não haver uma seqüência temporal real, pode-se traçar um caminho para ilustrar estas mudanças.

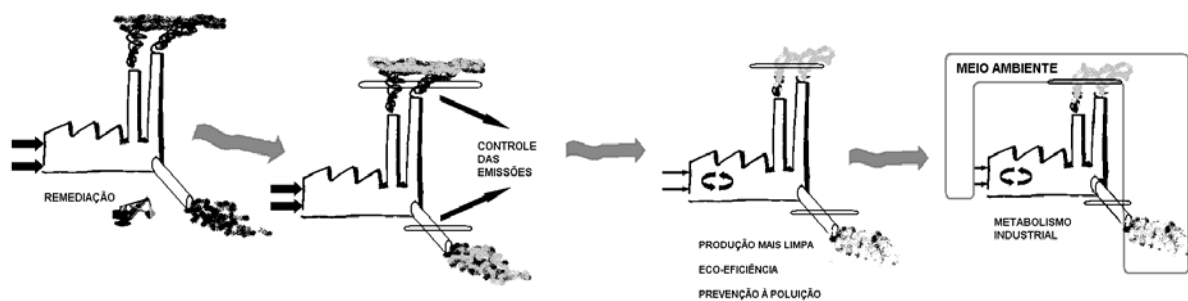


Fig. 1. Algumas respostas do sistema industrial aos problemas ambientais.

As abordagens preventivas mostraram que se pode obter benefício econômico e ao mesmo tempo minimizar a poluição [2]. As práticas de produção mais limpa, eco-eficiência e prevenção à poluição estão, atualmente disseminadas por várias

empresas e têm como principal característica a avaliação detalhada de todas as etapas de um processo a fim de otimizá-lo.

¹ A definição de “tecnologias ambientalmente amigáveis” é ainda controversa e é preferível utilizar “tecnologia mais amigável”. De forma geral, pode-se definir como tecnologia mais amigável ao meio ambiente aquela que substitui tecnologias convencionais de fabricação de forma a reduzir o impacto ambiental de determinado processo ou produto.

A Ecologia Industrial

A idéia de otimizar processos, categorizar todas as operações de uma indústria e acompanhar todos os passos de fabricação de um produto acaba, inevitavelmente, levando a um conhecimento profundo de cada sistema, permitindo, principalmente, o planejamento de ações em longo prazo. Por outro lado, este conhecimento detalhado do sistema leva à análise das interações do produtor com outras empresas, sejam elas fornecedores, consumidores de subprodutos ou consumidores finais.

Neste contexto, a analogia entre sistemas industriais e ecossistemas vêm ganhando força e levando à considerações sobre as interações do sistema com o meio ambiente. Apesar de existirem algumas reservas relativas à metáfora biológica, os conceitos que utilizam esta metáfora - Metabolismo Industrial [3] e Ecologia Industrial [4] - contribuem, de forma significativa para um avanço diante do problema da poluição.

A analogia com os ecossistemas permite um passo além: fechar os ciclos de materiais e energia com a formação de uma Eco-rede (Fig. 2) que “imita” os ciclos biológicos fechados. A Ecologia industrial propõe, portanto, fechar os ciclos, considerando que o sistema industrial não apenas interage com o ambiente, mas é parte dele e dele depende.

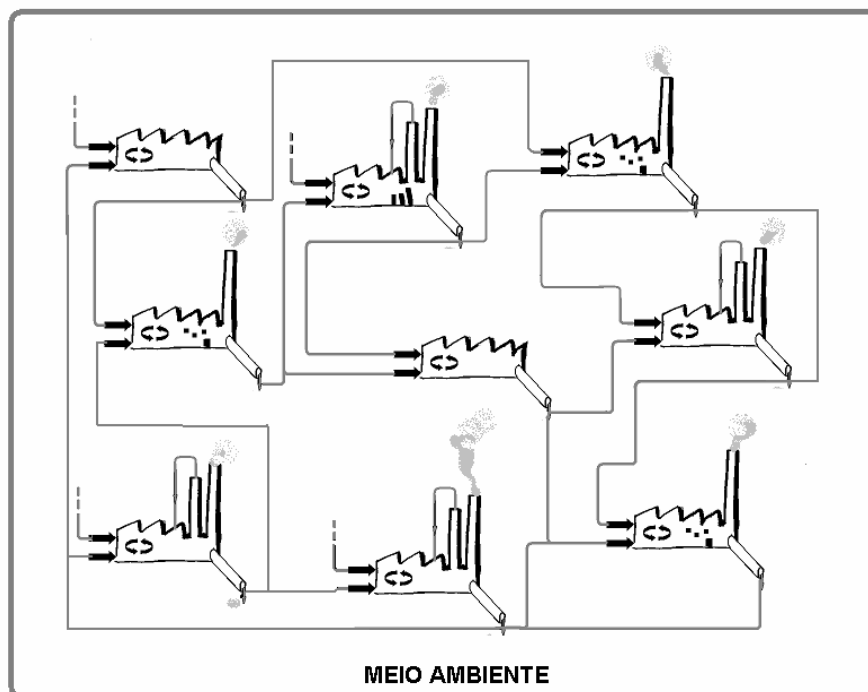


Fig. 2. Representação de uma Eco-rede, mostrando a otimização dos fluxos de materiais/energia devida à formação da rede. Os fluxos de produto não estão representados na figura, mas somente aqueles que caracterizam uma eco-rede.

A Ecologia Industrial é tanto um contexto para ação como um campo para pesquisa. O desenvolvimento desta abordagem pretende oferecer um quadro conceitual para o interpretar e adaptar a compreensão do sistema natural e aplicar esta compreensão aos sistemas industriais de forma a alcançar um padrão de industrialização que seja não só mais eficiente, mas também intrinsecamente ajustado às tolerâncias e características do sistema natural [5].

Esta abordagem implica em (1) aplicar a teoria dos sistemas e a termodinâmica aos sistemas industriais, (2) definir os limites do sistema incorporando o sistema natural e (3) otimizar o sistema. Neste contexto, o sistema industrial é planejado e deve operar como um sistema biológico dependente do sistema natural.

O sistema industrial é considerado um sub-sistema da biosfera, isto é, uma organização particular de fluxos de matéria, energia e informação. Sua evolução deve ser compatível com o funcionamento de outros ecossistemas. Parte-se do princípio de que é possível organizar todo o fluxo de matéria e de energia, que circula no sistema industrial, de maneira a torná-lo um circuito quase inteiramente

fechado [6]. Neste contexto, uma abordagem sistêmica é necessária para visualizar as conexões entre o sistema antropológico, o biológico e o ambiente. Pode-se dizer que o principal objetivo da Ecologia Industrial é transformar o caráter linear do sistema industrial para um sistema cíclico, em que matérias primas, energia e resíduos sejam sempre reutilizados.

A Ecologia Industrial e a Indústria Química

A maior aproximação da indústria química do conceito de Ecologia Industrial é a Química Verde. Da forma como foi desenvolvida, a Química Verde é ainda um conceito local tanto no espaço como no tempo [7]. O objetivo da Química Verde tem sido o de utilizar técnicas inovadoras para minimizar de imediato impactos ambientais causados por determinados processos. O alcance destas técnicas tem se limitado às vizinhanças da fábrica, ou seja, em minimizar as emissões de substâncias nocivas resultantes do processo em questão. Este tipo de ação pode ser associado à práticas de prevenção à poluição ou de produção mais limpa e é essencial no caminho da Ecologia Industrial. Entretanto, impactos ambientais causados localmente podem permanecer atuantes por um longo período de tempo e, também de espaço. Desta forma, se há intenção de se alcançar a sustentabilidade, deve-se incluir as interações com o ambiente por períodos maiores de tempo e considerar o espaço mais abrangente que as vizinhanças da empresa (Fig. 3). Ou seja, deve-se levar em conta não só o processo em si, mas também a implantação do processo e sua operação [8].

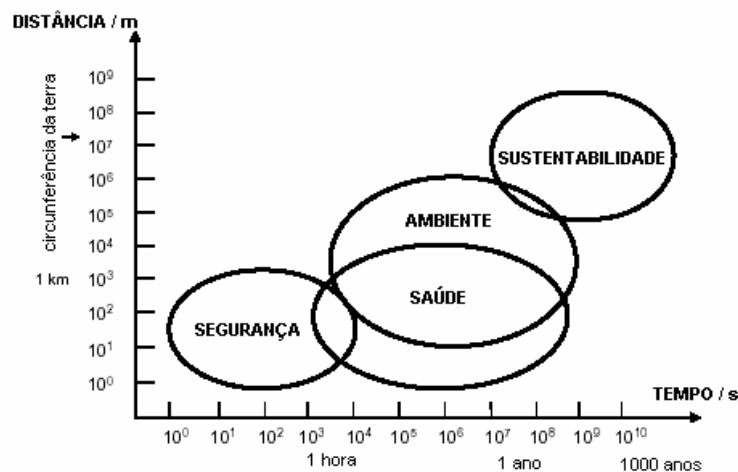


Fig. 3. Relação dos problemas ambientais com as escalas de tempo e espaço levando em consideração a sustentabilidade do sistema.

Para expandir a Química Verde sob os conceitos da Ecologia Industrial deve-se adotar uma análise sistêmica tanto dos produtos como dos processos [9]. Muitas das ferramentas desenvolvidas para a avaliação de manufaturas e produtos podem ser adaptadas para a indústria química. Entre estas, podem ser citadas a Avaliação de Ciclo de Vida (LCA, Life Cycle Assessment) e o Projeto para o Ambiente (DfE, Design for Environment).

A Avaliação de Ciclo de Vida é uma ferramenta que permite avaliar processos e produtos. O objetivo é identificar as fontes diretas e indiretas de geração de resíduos e/ou poluentes associados a um processo ou produto. A análise do produto deve ser sempre acompanhada da análise do processo (Fig. 4) para que, sob a visão sistêmica da Ecologia Industrial as interações da planta com o meio ambiente possam ser compreendidas tanto em sua dimensão espacial como temporal. Observa-se na figura 4 que a Avaliação do Ciclo de Vida do Produto considera a quantidade de reservas retiradas do meio ambiente para a fabricação do produto, a quantidade de material descartado, a possível reciclagem do produto após o uso e as emissões (sólidas, líquidas ou gasosas) que podem ser geradas em cada etapa da vida do produto. A Avaliação de Ciclo de Vida do processo tem caráter temporal e leva em conta o impacto causado pela construção da planta, aquele devido à sua operação e, finalmente, o impacto relacionado à sua desativação. A avaliação da etapa de operação permite visualizar pontos onde procedimentos relativamente simples podem minimizar a emissão de poluentes. Por exemplo, identificar possibilidades para reduzir e/ou eliminar o uso de solventes nas operações de limpeza e manutenção ou instalar detetores para identificar vazamentos de substâncias gasosas. Pode-se mostrar o efeito da desativação de uma planta e da recuperação das áreas de estações de tratamento e armazenamento de substâncias tóxicas.

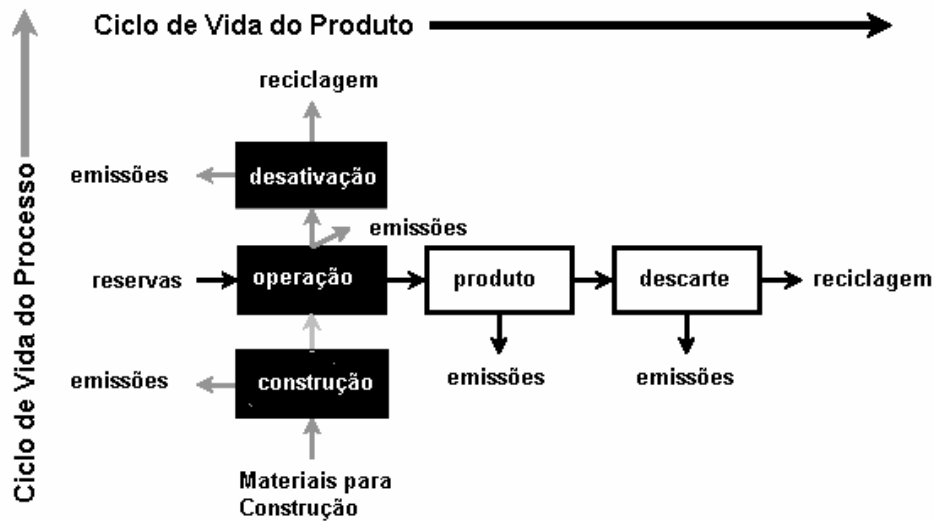


Fig. 4. Representação da Análise de Ciclo de Vida de uma indústria química considerando na horizontal o ciclo de vida do produto e na vertical, o ciclo de vida da planta industrial.

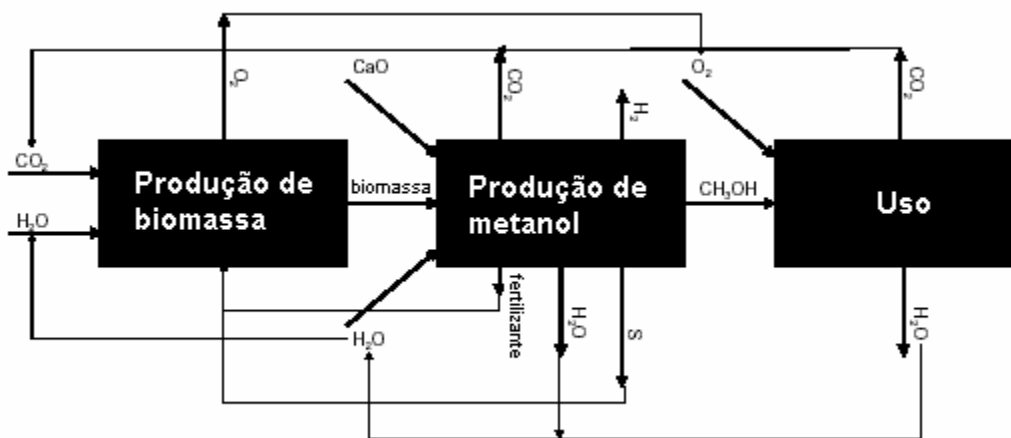


Fig. 5. Ciclo de Vida da produção de metanol.

Um exemplo do ciclo de vida de um produto da indústria química pode ser visualizado no fluxograma da figura 5, que mostra as etapas de fabricação e utilização do metanol e sua interação com o meio ambiente. No ciclo de vida do metanol pode-se observar a contribuição do meio ambiente, onde se pode considerar a água utilizada para a irrigação ou a água da chuva necessária para o crescimento da biomassa e a área de terreno necessária para este crescimento e seu reflorestamento. Nesta fase ocorre principalmente a emissão de O_2 , mas

podem ser, também incluídos, fertilizantes, herbicidas ou pesticidas eventualmente utilizados no cultivo da biomassa. Na etapa de produção do álcool, pode-se observar a utilização de matérias primas (biomassa e CaO) e água, a geração de um subproduto (fertilizante que poderia ser reutilizado na primeira etapa), emissão de CO₂ e enxofre. A Avaliação do Ciclo de Vida do metanol inclui seu uso, onde são consideradas a emissão de CO₂ e o uso de água.

Neste tipo de avaliação um balanço de massa (e, também, de energia) permite conhecer profundamente todas as etapas de um processo e suas interações com o meio ambiente. Além disto, todas as interações do produto com o ambiente, desde a extração de matérias primas para sua fabricação até seu descarte podem ser avaliadas, alteradas e melhoradas com o fechamento de ciclos, a utilização de matérias primas renováveis, a diminuição do transporte de material entre as etapas de vida do produto, o uso de processos ambientalmente benignos (Química Verde) e a consideração da etapa de uso no planejamento do processo e do produto.

Outra ferramenta da Ecologia Industrial que pode ser utilizada na indústria química é o Projeto para o Ambiente (Design for the Environment - DfE) que examina todo o ciclo de vida do produto e propõe alterações no projeto de forma a minimizar o impacto ambiental do produto desde sua fabricação até seu descarte. Incorporando o desenvolvimento do produto em seu ciclo de vida, o DfE pode integrar a preocupação com o meio ambiente em cada etapa do ciclo de vida do produto, de forma a reduzir os impactos gerados durante este ciclo. No caso da indústria química deve-se ressaltar que, apesar de o impacto ambiental gerado pelo produto, principalmente por seu descarte, ser bastante visível, o impacto ambiental gerado pelo processo é geralmente maior [10]. Processos bem sucedidos tendem a manter-se em operação por muitos anos e serem utilizados para a fabricação de vários produtos. Como exemplo, pode-se citar a fabricação do papel. Enquanto o produto (papel) não causa impacto ambiental considerável, mesmo quando descartado inadequadamente, o processo de fabricação do papel inclui a extração de madeira, o uso de grandes quantidades de água e a emissão

de uma grande quantidade de poluentes gasosos. Todas estas etapas resultam em profundos efeitos no ambiente.

O projeto de um processo sob a ótica da Ecologia Industrial deve prever a utilização de subprodutos e resíduos por outros processos. Além disto, deve considerar:

1. a redução ou eliminação do uso de substâncias tóxicas, inflamáveis e explosivos,
2. incluir fluxos de reciclagem sempre que possível,
3. escolher os materiais mais adequados, naturais ou não, com base na Avaliação de Ciclo de Vida,
4. considerar o consumo de energia, maximizando o uso de fontes renováveis de energias,
5. usar o mínimo de material e evitar a utilização de materiais escassos,
6. reduzir ou eliminar o armazenamento e emissão de materiais perigosos,
7. reduzir ou eliminar o uso de materiais ligados à degradação da camada de ozônio e às mudanças climáticas durante o ciclo de vida.

A utilização do DfE pela indústria química permite não só otimizar processos químicos convencionais empregando tecnologias amigáveis ao meio ambiente, mas também interligar diferentes processos com a finalidade de transformar resíduos em subprodutos.

Com o emprego das ferramentas da Ecologia Industrial pode-se conhecer profundamente um processo. Nesta etapa, práticas de produção mais limpa e prevenção à poluição devem melhorar o desempenho do processo. Entretanto, a partir do detalhamento do processo, surge a oportunidade de utilizar as abordagens mais sofisticadas que estão sendo desenvolvidas nas últimas décadas.

A utilização dos conceitos da Ecologia Industrial pode trazer grandes vantagens para a indústria química. A abordagem sistêmica permite visualizar que produtos e processos amigáveis ao ambiente não são somente aqueles que foram produzidos a partir de técnicas inovadoras que minimizam o impacto imediato causado pela fabricação.

Sendo a Ecologia Industrial uma abordagem relativamente nova, será necessário o desenvolvimento de rigorosa fundamentação científica que sustente as decisões dos projetos e a aplicação de tecnologias voltadas para o meio ambiente. Os avanços nesta área dependerão do desenvolvimento teórico, de modelos quantitativos, pesquisa empírica e experimentos de campo. Além disto, para o caso da indústria química é extremamente importante que o conhecimento destes conceitos e ferramentas seja de fácil acesso aos engenheiros químicos. A integração destes conceitos com o curriculum de Engenharia Química poderá acelerar as mudanças necessárias neste setor no que tange à interação da indústria química e meio ambiente.

Referências bibliográficas

- [1] P. T. Anastas e C. A. Farris, American Chemical Society, ACS Symposium Series, 577 (1994) 123.
- [2] PNUMA, Producción más Limpia, um paquete de recursos de capacitación, Fev. 1999.
- [3] R.U. Ayres, International Social Science Journal, 121 (1989) 23.
- [4] R. Frosch e N. Gallopoulos, Scientific American 261(1989) 144.
- [5] H. Tibbs, Whole Earth Review, 77 (1992) 4.
- [6] S. Erkman, J. Cleaner Prod., Vol.5, pg. 1-10, 1997.
- [7] T. E. Graedel, Pure Appl. Chem., 73 (2001) 1243.
- [8] G. Korevaar. Workshop "Ivory Tower versus Industrial Practice, Delft, 2001, M3.
- [9] R. Breslow, Chem. Eng. News., 26 (1996) 72.
- [10] S. E. Manahan, "Industrial Ecology: Environmental Chemistry and Hazardous Waste", Lewis Pub., Londres, 1999.