

SENAI • PROGRAMA TECNOLOGIAS E GESTÃO AMBIENTAL • Prevenção da Poluição



CNI
SENAI



Tecnologias
e Gestão
Ambiental

Prevenção da Poluição

Asher Kiperstok
Arlinda Coelho
Ednildo Andrade Torres
Clarissa Campos Meira
Sean Patrick Bradley
Marc Rosen

BRASÍLIA
2002



Prevenção da Poluição

**Confederação Nacional da Indústria • CNI e
Conselho Nacional do SENAI**

Armando de Queiroz Monteiro Neto
Presidente

**Comissão de Apoio Técnico e Administrativo
ao Presidente do Conselho Nacional do SENAI**

Fernando Cirino Gurgel
Vice-Presidente da CNI

Dagoberto Lima Godoy
Diretor da CNI

Max Schrappe
Vice-Presidente da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

SENAI • Departamento Nacional

José Manuel de Aguiar Martins
Diretor-Geral

Mário Zanoni Adolfo Cintra
Diretor de Desenvolvimento

Eduardo de Oliveira Santos
Diretor de Operações

CNI
SENAI

Confederação Nacional da Indústria
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Departamento Nacional



Tecnologias
e Gestão
Ambiental

Prevenção da **Poluição**

Asher Kiperstok
Arlinda Coelho
Ednildo Andrade Torres
Clarissa Campos Meira
Sean Patrick Bradley
Marc Rosen

BRASÍLIA
2002

©2002. SENAI • Departamento Nacional

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

SENAI/DN

COTED • Unidade de Conhecimento Tecnologia da Educação

Projeto Estratégico Nacional "Desenvolvimento Integrado de
Cursos para Educação a Distância com Recursos Multimídia via Internet"

MÓDULOS DO PROGRAMA TGA

MÓDULO INTRODUTÓRIO

SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL

PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO

EFLUENTES LÍQUIDOS

EMISSIONES ATMOSFÉRICAS

RESÍDUOS SÓLIDOS

CONTAMINAÇÃO DOS SOLOS E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

FUNDAMENTOS LEGAIS E ECONÔMICOS

VISÃO INTEGRADA EM MEIO AMBIENTE

Cada módulo do Programa TGA inclui ambiente web e livro impresso, que são recursos didáticos complementares.

FICHA CATALOGRÁFICA

KIPERSTOK, Asher et al. **Prevenção da poluição.**

Brasília: SENAI/DN, 2002. 290 p.

ISBN 85-7519-071-7

MEIO AMBIENTE

CDU: 504.03

SENAI

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Departamento Nacional

SEDE • BRASÍLIA

Setor Bancário Norte
Quadra 1 - Bloco C
Edifício Roberto Simonsen
70040-903 • Brasília • DF
Tel (0xx 61) 317-9001
Fax (0xx 61) 317-9190
Homepage: www.dn.senai.br

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS, TABELAS E QUADROS

APRESENTAÇÃO

INTRODUÇÃO	17
-------------------	-----------

CAPÍTULO 1	MOTIVAÇÃO: DAS PRÁTICAS DE FIM-DE-TUBO PARA A PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO	21
-------------------	--	-----------

1.1	ESTAMOS CONSTRUINDO UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL?	22
1.2	A NECESSIDADE DE MUDAR DE PARADIGMA: DO FIM-DE-TUBO PARA A PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO	31
1.3	BARREIRAS A SUPERAR	35

CAPÍTULO 2	PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS	45
-------------------	--------------------------------	-----------

2.1	IMPACTOS AMBIENTAIS: QUAIS SÃO?	46
	Deposições Ácidas	47
	Mudança Climática e Efeito Estufa	48
	Degradação da Qualidade das Águas Subterrâneas	50
	Degradação de Águas Superficiais	52
	Degradação do Solo	53
	Redução de Hábitat e Biodiversidade	55
	Buraco da Camada de Ozônio	55
	Névoas Fotoquímicas (Smog)	58
	Degradação das Condições de Habitabilidade Urbana	59
	Inserção de Substâncias Tóxicas Persistentes na Cadeia Alimentar	60
	Outros Problemas Ambientais	62
2.2	CLASSIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS	64
	Classificação Espacial dos Impactos	65
	Classificação Temporal dos Impactos	66
	Classificação dos Impactos Ambientais pelo Tipo de Risco	67

CAPÍTULO 3	MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS	71
-------------------	--------------------------------	-----------

3.1	OS PROCESSOS INDUSTRIAIS E SEUS RESÍDUOS	73
	Resíduos Gasosos	75
	Efluentes Líquidos	77
	Resíduos Sólidos	82

3.2	COMO ABORDAR O PROBLEMA DOS RESÍDUOS, EMISSÕES E EFLUENTES NA INDÚSTRIA	84
	Redução na Fonte, Pensando a Mudança do Produto	88
	Mudança de Insumos	90
	Mudanças na Tecnologia	91
	Mudanças no Processo	92
	Boas Práticas Operacionais (Good Housekeeping Practices)	100
	Reciclagem Interna e Externa	105
	Embalagens e Transporte	110

CAPÍTULO 4 **METODOLOGIAS DE GESTÃO AMBIENTAL COM ENFOQUE EM PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO E MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS** **113**

4.1	PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO/PRODUÇÃO MAIS LIMPA – O QUE É? COMO SURTIU?	115
4.2	HISTÓRICO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA NO BRASIL	118
4.3	PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO/PRODUÇÃO MAIS LIMPA X TECNOLOGIAS FIM-DE-TUBO	120
4.4	METODOLOGIA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA DESENVOLVIDA PELA UNIDO/UNEP	124
4.5	OUTRAS METODOLOGIAS	136
4.6	PRODUÇÃO MAIS LIMPA COMO INSTRUMENTO DE MARKETING	138
4.7	O SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL (SGA) BASEADO NA NORMA INTERNACIONAL ISO 14001 E A PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L)	141
4.8	A ÉTICA NAS ORGANIZAÇÕES	148

ANEXOS

ANEXO 1	Folha de Trabalho Nº 1 – Principais produtos e/ou serviços	153
ANEXO 2	Folha de Trabalho Nº 2 – Principais resíduos gerados e/ou emissões	154
ANEXO 3	Folha de Trabalho Nº 3 – As principais matérias-primas e auxiliares	155
ANEXO 4	Folha de Trabalho Nº 4 – Prevenção e minimização de resíduos e emissões	156
ANEXO 5	Folha de Trabalho Nº 5 – Categoria de resíduos gerados e emissões	157
ANEXO 6	Tabela 4.3 – Categorias de resíduos	158

CAPÍTULO 5 **ACV – ANÁLISE DE CICLO DE VIDA** **159**

5.1	O QUE É ACV?	160
5.2	ALGUNS EXEMPLOS ILUSTRATIVOS	162
5.3	FASES DA ACV	164
5.4	ACV PARA IDENTIFICAÇÃO DE QUESTÕES-CHAVE	174
5.5	ANÁLISES COMPARATIVAS	175
5.6	ALGUMAS APLICAÇÕES DE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA	176

CAPÍTULO 6 **ECOLOGIA INDUSTRIAL E PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE (DfE)** **183**

6.1	ECOLOGIA INDUSTRIAL	186
	Projetar	191
	Mudando o Processo de Projetar	192
	Projeto para o Meio Ambiente	196

6.2	DESENVOLVIMENTO DE NOVOS CONCEITOS	199
	Desmaterialização	200
	A Mudança para Serviços	200
	Partilhamento de Equipamentos	201
6.3	OTIMIZAÇÃO FÍSICA	201
	Integração de Funções	202
	Otimização das Funções	202
	Aumento da Confiabilidade e Durabilidade	202
	Facilidade de Manutenção e Reparo	203
	Estrutura Modular do Produto	204
	Fortes Relações com Quem Utiliza o Produto	204
6.4	OTIMIZAÇÃO DO USO DOS MATERIAIS	205
	Considerações sobre o Uso de Materiais	205
	Reduzir Uso de Materiais	205
	Materiais mais Limpos	206
	Materiais Renováveis e Abundantes	206
	Materiais Energeticamente Eficientes	208
	Materiais Reciclados	208
	Materiais Potencialmente Recicláveis	209
6.5	OTIMIZAÇÃO DAS TÉCNICAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO	210
6.6	OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO	210
	Embalagem	210
	Transporte	211
	Armazenamento	212
	Logística Eficiente	212
6.7	REDUÇÃO DO IMPACTO DURANTE O USO	213
	Redução no Consumo de Energia e Fontes de Energia mais Limpas	213
	Reduzir Insumos e Utilizar Insumos mais Limpas	213
6.8	SISTEMAS PARA O FINAL DO CICLO DE VIDA	214
	Reuso	215
	Projeto para Desmontagem	216
	Remanufatura de Produtos	216
	Reciclagem	217
6.9	O FUTURO: PROJETO SUSTENTÁVEL	219
CAPÍTULO 7	ENERGIA	223
7.1	ENERGIA E MEIO AMBIENTE	225
7.2	CONSUMO DE ENERGIA NO CONTEXTO GLOBAL E NACIONAL	228
	Consumo de Energia por Habitante no Mundo	228
	Expectativa de Vida x Consumo de Energia	229

7.3	CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL	231
	Setor Industrial	231
	Setor Residencial	233
	Setor de Transporte	233
7.4	FONTES, FORMAS E CONVERSÃO DE ENERGIA	235
	Energia Solar	236
	Biomassa	239
	Combustíveis Fósseis	242
	Outras Fontes de Energia	243
7.5	MEDIDAS TÉCNICAS PARA MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO	244
	Prevenção das Perdas e Dissipação de Energia	244
	Co-Geração e Geração de Multiproduto	244
	Sistemas de Energia Integrados	246
	Entrosamento entre Demanda, Fornecimento e Armazenamento de Energia	246
	Melhoria no Envolvimento das Edificações	247
	Uso de Aparelhos de Alta Eficiência	248
	Iluminação mais Eficiente e Eficaz	248
	Aquecimento e/ou Resfriamento por Região	250
	Uso de Estratégias Passivas para Reduzir o Consumo de Energia	250
	Oportunidades para Melhoria em Equipamentos Industriais	251
7.6	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E ENERGIA	256
	Suprimento Energético	257
	Limitações Práticas na Eficiência de Energia	260
	Limitações Teóricas na Eficiência de Energia	260
7.7	O FUTURO: ANÁLISE DE EXERGIA	262
CAPÍTULO 8 TENDÊNCIAS PARA O FUTURO		267
8.1	TENDÊNCIAS FUTURAS	268
	Uso Multifuncional da Terra	270
	Ambientes de Produção Fechados e Controlados	271
	Uso Completo de Plantas e Biomassa através da Conversão Integral	272
	Alimentos à Base de Novas Proteínas	273
	Tecnologias de Sensores	274

REFERÊNCIAS	277
--------------------	------------

LISTA DE FIGURAS, TABELAS E QUADROS

FIGURAS

CAPÍTULO 1

FIGURA 1.1	Gráfico com projeções da população mundial	24
FIGURA 1.2	Nordestino retirante	32
FIGURA 1.3	Produção limpa e limpeza de processos	35
FIGURA 1.4	Sistema não interativo correspondente à lógica do projetista e do operador	36
FIGURA 1.5	Lógica do controle externo sobre os poluentes	37
FIGURA 1.6	A mudança de lógica para tecnologias limpas	38

CAPÍTULO 2

FIGURA 2.1	Caminho do poluente no corpo receptor	61
------------	---------------------------------------	----

CAPÍTULO 3

FIGURA 3.1	Processo industrial	73
FIGURA 3.2	Do Fim-de-tubo à sustentabilidade ambiental	86
FIGURA 3.3	Organograma mestre das ações para prevenção e controle da poluição	87
FIGURA 3.4	Diagrama da cebola para síntese de processos	95
FIGURA 3.5	Fluxograma esquemático de procedimentos para fechar um processo químico	97
FIGURA 3.6	Dois modelos de tratamento de efluentes de processo	98
FIGURA 3.7	Concurso de idéias	102
FIGURA 3.8	Minimização de resíduos na indústria de tratamento de metais	103
FIGURA 3.9	Gaiola transportando peças metálicas para o tratamento de superfícies	104
FIGURA 3.10	Hierarquia de preferências para reciclagem	107

CAPÍTULO 4

FIGURA 4.1	Países “hospedeiros” dos Centros Nacionais de Tecnologias Limpas	127
FIGURA 4.2	Fluxograma de implantação de Produção mais Limpa - Metodologia UNIDO/UNEP	128
FIGURA 4.3	Diagrama de bloco	129
FIGURA 4.4	Organograma de Produção mais Limpa	131
FIGURA 4.5	Por que fazer um programa de Produção mais Limpa?	140
FIGURA 4.6	Ciclo de implantação de um SGA	143

CAPÍTULO 5

FIGURA 5.1	Fluxo de material, ciclo total	163
FIGURA 5.2	Fases da ACV	164
FIGURA 5.3	Definição dos limites do sistema	167
FIGURA 5.4	Dimensões de uma ACV	167
FIGURA 5.5	Ciclo de vida do polietileno	168

CAPÍTULO 6

FIGURA 6.1	Sistemas abertos e fechados	188
FIGURA 6.2	Tipos de fluxo de materiais	189
FIGURA 6.3	Rotas de projeto - <i>Design wheels</i>	196

CAPÍTULO 7

FIGURA 7.1	Consumo de energia per capita no mundo	228
FIGURA 7.2	Expectativa de vida x consumo de energia	230
FIGURA 7.3	Consumo de energia na indústria por fonte	232
FIGURA 7.4	Consumo de energia no setor residencial por fonte	233
FIGURA 7.5	Consumo de energia no setor de transporte por fonte	234
FIGURA 7.6	Energia total incidente na Terra	237
FIGURA 7.7	Sistema de co-geração em ciclo combinado	245

TABELAS

CAPÍTULO 1

TABELA 1.1	Crescimento da renda per capita	24
TABELA 1.2	Padrões de consumo para mercadorias selecionadas	27
TABELA 1.3	Dados comparativos de aspectos ambientais – Automóvel	29
TABELA 1.4	Dados comparativos de aspectos ambientais – Infra-estrutura	30
TABELA 1.5	Resumo dos resultados	31

CAPÍTULO 2

TABELA 2.1	Classificação dos impactos ambientais em uma escala espacial	65
------------	--	----

CAPÍTULO 3

TABELA 3.1	Compostos considerados no programa	81
TABELA 3.2	Procedimento de decisões hierárquicas para minimização de resíduos	94
TABELA 3.3	Resultado do concurso de idéias para conservação de energia na Dow/Louisiana	101

CAPÍTULO 4

TABELA 4.1	Diferenças entre Tecnologias Fim-de-tubo e Produção mais Limpa	123
TABELA 4.2	Comparação entre SGA baseado na ISO 14001 e Produção mais Limpa – Metodologia desenvolvida pela UNIDO/UNEP	149
TABELA 4.3	Categorias de resíduos	158

CAPÍTULO 6

TABELA 6.1	Limitações globais de recursos materiais	207
------------	--	-----

CAPÍTULO 7

TABELA 7.1	Eficiência energética para diferentes tipos de fontes de luz	249
------------	--	-----

QUADROS

CAPÍTULO 4

QUADRO 4.1	Participantes da Rede de Tecnologias Limpas do Brasil	119
QUADRO 4.2	Resumo da proposta de inserção dos conceitos de P+L nos requisitos da ISO 14001	147

APRESENTAÇÃO

As inovações tecnológicas exigem mudanças profundas em diversos campos do conhecimento humano, sinalizando com novas demandas para o sistema educacional do País. Os profissionais buscam renovar e/ou adquirir conhecimentos na expectativa de se manterem em atividade ou conquistarem novas oportunidades no mercado de trabalho. Firma-se, assim, a necessidade de educação permanente.

Ao mesmo tempo que se observa a relevância do desenvolvimento tecnológico, evidencia-se na sociedade a importância do meio ambiente para que se resguarde a qualidade da sobrevivência humana.

Há necessidade de se harmonizarem as demandas da população com o desenvolvimento industrial, buscando-se o equilíbrio ecológico e reduzindo-se a intensidade de poluição industrial por meio de uma produção mais limpa.

O mercado industrial proclama a perspectiva de absorção de novos perfis profissionais na área ambiental. Torna-se explícita a necessidade de desenvolvimento na performance dos profissionais da área.

Associando as novas tecnologias à educação a distância, com sólida proposta pedagógica, o SENAI apresenta o **Programa Tecnologias e Gestão Ambiental – TGA**, que objetiva desenvolver competências profissionais relacionadas às questões de prevenção e controle da poluição, focalizando

as tecnologias mais adequadas juntamente com os aspectos da gestão ambiental.

O **Programa TGA**, sintonizado com os requisitos de qualidade e da regulamentação brasileira sobre educação a distância, é estruturado em módulos, que podem ser cursados de forma independente e flexível, de acordo com a necessidade do aluno.

Professores universitários brasileiros e canadenses, associados ao Programa SENAI de Qualidade Ambiental (PSQA), consultores externos e especialistas do SENAI dedicaram-se à elaboração dos conteúdos didáticos de cada módulo.

Diversos meios de comunicação encontram-se disponíveis no processo de aprendizagem. Os recursos didáticos, produzidos por profissionais do SENAI, estão formatados no ambiente web, para oferta via Internet, e há, ainda, o livro didático impresso como material de apoio.

O **Programa TGA** é mais uma contribuição do SENAI para a capacitação de profissionais que, dentro de seu ambiente de trabalho, poderão utilizar, de forma correta e eficaz, novas metodologias e tecnologias necessárias para o equilíbrio ecológico associado ao desenvolvimento industrial.

José Manuel de Aguiar Martins

Diretor-Geral

PROGRAMA TECNOLOGIAS E GESTÃO AMBIENTAL • TGA

Módulo Introdutório
10h/aula
pré-requisito obrigatório

**Sistemas de
Gestão Ambiental**
45h/aula

Prevenção da Poluição
45h/aula

**Visão Integrada em
Meio Ambiente**
45h/aula

**Contaminação dos Solos
e Recuperação de Áreas
Degradadas**
45h/aula

**Fundamentos Legais
e Econômicos**
45h/aula

Emissões Atmosféricas
45h/aula

Efluentes Líquidos
45h/aula

Resíduos Sólidos
45h/aula

Os módulos poderão ser cursados de forma independente, como cursos de curta duração, ou combinados, formando os percursos abaixo:

  PERCURSO GESTÃO AMBIENTAL

  PERCURSO TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

   ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS E
GESTÃO AMBIENTAL

(em estudo)

INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a gestão ambiental no Brasil, no que se refere aos processos produtivos, vem priorizando a abordagem de Comando e Controle (C&C), que se baseia na criação de dispositivos e exigências legais (*comando*) e de mecanismos para garantir o cumprimento destas (*controle*). Esta abordagem tem-se caracterizado pela não-integração de fatores ambientais (ex.: água, ar, solo), fatores bióticos, sociais e a adoção de medidas de forma isolada, visando essencialmente ao controle da poluição.

Esta estratégia estimula uma postura reativa por parte das empresas, no tratamento das questões ambientais, levando os setores produtivos, o governo e outros agentes de interesse a adotarem posições antagônicas e de confronto.

Algumas empresas, no entanto, vêm, a partir dos anos 90, adotando estratégias que refletem uma mudança de comportamento diante dos impactos negativos decorrentes de suas atividades produtivas. Esta mudança baseia-se numa nova relação entre meio ambiente e negócios, que se configura em demandas de mercado por produtos e processos mais ambientalmente corretos, estimulando a adoção voluntária de instrumentos de gestão ambiental como certificação de produtos (selos-verde) e de processos (Norma ISO 14001); programas de Prevenção da Poluição.

A adoção destes instrumentos *voluntários*, normalmente pautados em princípios de *auto-regulação*, devidamente complementados com os mecanismos clássicos de C&C,

impostos pelos órgãos ambientais, tem-se mostrado uma estratégia eficiente na melhoria do desempenho ambiental das empresas.

Dentre os instrumentos de gestão ambiental, os programas de Prevenção da Poluição / Produção Limpa, baseados no princípio de “antecipar e prevenir” possíveis fontes geradoras de problemas ambientais, apresentam resultados muito interessantes para as empresas com benefícios tecnológicos, financeiros, ambientais e outros, como a melhoria da imagem, contribuindo para o aumento de competitividade destas no mercado globalizado.

A *Prevenção da Poluição* tem como principal foco a não geração de poluentes, e está relacionada com o uso de matérias-primas, insumos e resíduos nos processos produtivos. Este conceito está ligado ao de *produção limpa*, que considera o uso de técnicas que possibilitam o menor consumo de recursos naturais (água e energia) e a minimização dos resíduos, dos riscos e dos impactos ambientais negativos em geral.

A *Produção Limpa* também está relacionada com valores e comportamentos dos agentes econômicos e sociais. Esta pressupõe a transparência e abertura das informações pelas empresas, num estímulo à prática de *benchmarking*, assim como também a publicação de relatórios que favorecem a elevação de padrões ambientais.

O curso de Prevenção da Poluição visa promover, através de processo educativo, uma mudança de mentalidade dos profissionais da indústria, fazendo com que estes assumam, cada vez mais, uma postura pró-ativa alinhada com as tendências de gestão ambiental que compatibilizam o desenvolvimento com a proteção do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida.

O conteúdo deste livro está dividido em 8 capítulos, onde no **Capítulo 1** procuramos dimensionar o desafio ambiental que se coloca à nossa frente e questionamos se as práticas atuais de controle da poluição são capazes de superá-lo. Já no **Capítulo 2** revisamos os principais problemas ambientais e apresentamos uma classificação de impactos em termos de amplitude espacial, comportamento ao longo do tempo e nível de risco.

No **Capítulo 3** identificamos os agentes poluidores produzidos na indústria e discutimos as abordagens que podem ser utilizadas visando minimizar a geração destes.

No **Capítulo 4** apresentamos o processo de evolução das práticas de Prevenção da Poluição no Brasil e a metodologia de Produção mais Limpa desenvolvida pela UNIDO/UNEP, divulgada no Brasil pelo CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas, sediado no SENAI Rio Grande do Sul.

Nos **Capítulos 5 e 6** ampliamos a discussão para fora do processo produtivo e mostramos a necessidade de se considerar os impactos ambientais associados a todo o ciclo de vida dos produtos e processos. Apresentamos no Capítulo 5 a Análise de Ciclo de Vida e no Capítulo 6 o Projeto para o Meio Ambiente como mecanismos para atingir o objetivo proposto.

No **Capítulo 7** consideramos o fato da questão energética estar intimamente associada aos impactos ambientais provocados, tanto em processos produtivos específicos como pela sociedade como um todo, para apontar formas e tecnologias que contribuam para a melhoria do desempenho energético e, conseqüentemente, ambiental no processo produtivo.

No **Capítulo 8**, o último deste livro, em vez de tirarmos alguma conclusão sobre a viabilidade das alternativas apresentadas para reduzir a poluição, direcionamos o foco da

discussão para uma avaliação do futuro tecnológico associado ao desenvolvimento sustentável. Para tanto, tomamos como referência o Programa de Desenvolvimento de Tecnologias Sustentáveis proposto no Plano Holandês de Políticas Ambientais.

Promovemos ainda neste capítulo final uma reflexão sobre o impacto da inovação tecnológica no processo produtivo, tendo como elemento de provocação as posições dos autores Weaver et al. (2000): “As práticas habituais de inovação não oferecem qualquer perspectiva da tecnologia ter um papel, senão periférico, para se atingir o desenvolvimento sustentável”. Estes autores ainda complementam que há necessidade de se inovar o atual processo de inovação tecnológica para poder se pensar em legar um planeta equilibrado para os nossos filhos.

Vale salientar que todo o conteúdo deste módulo foi desenvolvido visando estimular a capacidade de inovar na marcha em direção ao desenvolvimento sustentável, focando o processo produtivo como objeto de melhoria, no que se refere à redução dos impactos ambientais.

Esperamos que todos nós sejamos parceiros nesta jornada, pois o desafio ambiental a ser vencido pode ser muito maior do que parece ser!

CAPÍTULO 1

MOTIVAÇÃO: DAS PRÁTICAS DE FIM-DE-TUBO PARA A PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO

Asher Kiperstok

Universidade Federal da Bahia • UFBA • TECLIM

“Mudar de controle da poluição para a sua prevenção é um bom começo, mas as empresas devem ir além.”

Michael Porter, Claas van der Linde, 1995

Início do século XXI. Será que você ainda precisa ser convencido de que o único caminho para a humanidade sobreviver na face da Terra é tornar seus processos produtivos não poluentes? Prevenir a poluição? Talvez para você este capítulo seja como chover no molhado. Talvez seja até novidade. Muito provavelmente você já deve ter intuído que as atuais práticas de produção e de controle da poluição deixam alguma coisa a desejar e queira compartilhar com seus colegas suas inquietações, e ouvir as deles. De certa forma, é o que nós estamos fazendo aqui.

O ritmo de expansão do processo de degradação ambiental cresce dia a dia. Por outro lado, cresce a consciência ambiental da população e das corporações. Está estabelecida uma corrida entre estes dois processos. Do resultado dela depende o futuro de nossos descendentes. Como em toda corrida, ganha quem supera os concorrentes. O corredor que corre tudo quanto pode poderá se sentir satisfeito com seu desempenho e dormir tranquilo depois. Mas não ganha necessariamente a corrida, e esta é uma corrida que não podemos nos dar ao luxo de perder.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discutir a questão da velocidade que precisa ser imprimida ao processo de redução do impacto ambiental das atividades produtivas para alcançar o desenvolvimento sustentável.
- Esclarecer a necessidade de uma mudança de paradigma no que se refere à relação atividade produtiva e meio ambiente. Da tecnologia Fim-de-tubo para a Prevenção da Poluição.
- Analisar os motivos que têm levado a priorizar o controle da poluição com base no uso de tecnologia Fim-de-tubo.

Muitas corporações procuram melhorar continuamente seu desempenho ambiental. Mas isto é suficiente? Como podemos saber se a velocidade de melhoria do desempenho ambiental da nossa sociedade é suficiente para que ganhemos a corrida?

Dúvidas?

Ótimo.

Ansiedade?

Relaxe, mas aja!

Neste capítulo discutiremos a questão da velocidade que precisa ser impressa ao processo de redução de impacto ambiental das atividades produtivas. Aproveitaremos, ainda, para rever as principais preocupações ambientais da sociedade moderna.

1.1 ESTAMOS CONSTRUINDO UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL?

Nos anos 70, ilustres homens públicos brilharam por demonstrar sua ignorância diante das questões ambientais levantadas, em 1972, em Estocolmo, pela Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano. Atualmente, existe uma quase unanimidade em torno da causa ambiental, seja por razões mercadológicas, ou de efetivo compromisso social (ou ambas?); o fato é que cada vez mais pessoas e empresas adotam atitudes ambientalistas. Convém, no entanto, analisar se os resultados que estão sendo atingidos efetivamente apontam para uma reversão do processo de degradação ambiental, ou sequer para uma redução da velocidade com que esse se dá.

Graedel e Allenby (1998), no trabalho intitulado “Ecologia Industrial e o Automóvel”, apresentam um interessante raciocínio para ilustrar a evolução do impacto do desenvolvimento sobre o meio ambiente nas últimas décadas e o que podemos esperar para o futuro.

Estes pesquisadores dos Laboratórios Bell e da AT&T, respectivamente, utilizam a conhecida Equação Mestra de impacto ambiental para pensar o futuro do planeta:

$$\text{Impacto Ambiental} = \text{População} \times \frac{\text{PIB}}{\text{pessoa}} \times \frac{\text{Impacto Ambiental}}{\text{unidade de PIB}}$$

Weaver e colaboradores (2000) referem-se à equação acima como a Primeira Expressão de Ehrlich, que difere, apenas formalmente, da anterior por colocar o segundo fator do lado direito da equação como “Consumo *per capita*”. Na realidade, o padrão de consumo está intimamente relacionado com a renda da pessoa.

Se aplicarmos a Equação Mestra para o momento atual e a projetarmos para um futuro, digamos de 30 a 50 anos, poderemos ter uma idéia de como evoluirá o impacto ambiental sobre o nosso planeta. Claro que não se pode esperar grande precisão de projeções a tão longo prazo. Ao contrário, espera-se que, com base na reflexão que tenhamos no momento, possamos influenciar o futuro de forma que as previsões mais negativas não venham a acontecer.

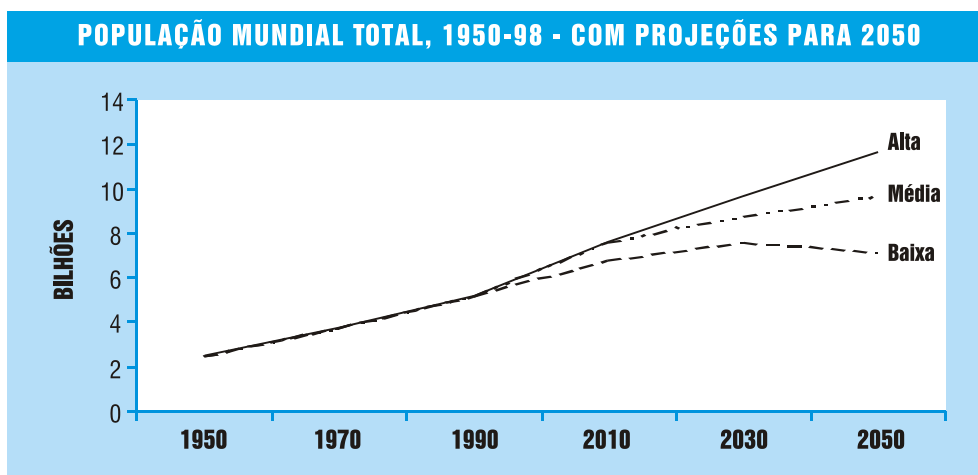
Os números a seguir apresentados devem ser criticados. Espera-se que cada um de nós componha seus próprios dados e os traga para discussão. Os próprios autores aqui citados divergem entre si, e nós deles. Felizmente! Isso, contudo, não retira a validade da linha de raciocínio apresentada.

Questão para reflexão:

- Pesquise dados que permitam projetar o impacto ambiental para 2050. Qual é seu palpite?

De volta à análise do primeiro fator da equação, este nos remete para a sempre acalorada discussão sobre o crescimento populacional.

Mitchell (1997), do Worldwatch Institute, citando dados do Escritório de Censos dos Estados Unidos, aponta para um crescimento da população mundial entre 1950 e 1996 de 2,6 para 5,8 bilhões de pessoas. Isso representa uma taxa média de crescimento anual de 1,8%. Segundo a fonte, esta taxa flutuou entre 1,3% e 2,2% a.a., com uma média de 1,8% a.a. Se considerarmos uma taxa de crescimento anual de 1,3%, nos próximos 30 anos a população mundial será 1,47 vez a atual e, em 50 anos, 1,9 vez. Caso nosso palpite seja 1,4% a.a., nestes horizontes a população crescerá 1,52 e 2,0 vezes.



Fonte: UN apud WWI (Mitchell, 1997).

FIGURA 1.1 – GRÁFICO COM PROJEÇÕES DA POPULAÇÃO MUNDIAL

Prever a evolução da renda *per capita* para os próximos 50 anos é outro exercício de arriscada futurologia. Graedel e Allenby (1998) ilustram, com dados do Banco Mundial, as taxas de crescimento verificadas em diversos blocos geoeconômicos (Tabela 1.1).

TABELA 1.1 – CRESCIMENTO DA RENDA *PER CAPITA*, 1980-2000 (BANCO MUNDIAL 1992)

Grupo de países	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000
Mais desenvolvidos	4,1	2,4	2,4	2,1
Subsaara	0,6	0,9	-0,9	0,3
Leste Asiático	3,6	4,6	6,3	5,7
América Latina	2,5	3,1	-0,5	2,2
Leste Europeu	5,2	5,4	0,9	1,6
Menos desenvolvidos	3,9	3,7	2,2	3,6

Fonte: Graedel e Allenby, 1998.

Os números representam taxas médias de crescimento anual em %.
Os números para a década 1990-2000 são uma estimativa do próprio Banco Mundial

Mesmo podendo-se contestar os dados projetados na tabela acima, os autores citados se permitem apontar para um crescimento da renda *per capita* mundial de três a cinco vezes (o que equivale a 2,2% e 3,3% a.a., respectivamente) nos próximos 50 anos. Consideremos aqui, muito conservadoramente, uma taxa de crescimento anual da renda *per capita* mundial de 2%. Apesar de representar uma alternativa que, provavelmente, confinaria os países subdesenvolvidos na sua pobreza, estes números implicam um crescimento da renda mundial de 81% (1,81 vez) nos próximos 30 anos, e 169% (2,69 vezes) em 50 anos. Usando dados conservadores, crescimento populacional de 1,3% a.a. e de renda *per capita* de 2% a.a., para todo o planeta, em 50 anos, os dois primeiros fatores da Equação Mestra (lado direito), multiplicados, representam o valor de 5,11 (1,9 x 2,69). Chamemos este valor de FATOR 5.

Fator 5, então, representa quanto o terceiro fator da equação, impacto ambiental por unidade de produto, teria que ser reduzido em 50 anos apenas para MANTER O ATUAL NÍVEL DE IMPACTO AMBIENTAL NO PLANETA. Reduzir em cinco vezes o impacto ambiental de cada produto e atividade, para poder manter as coisas como estão.

Dados menos conservadores, tais como os apresentados por Allenby e Graedel, indicam valores até três vezes maiores!, para o crescimento da renda *per capita* mundial. De fato, este crescimento acelerado da renda *per capita* se faz necessário para tirar uma enorme parcela da população mundial do estado de pobreza absoluta em que se encontra. Basta lembrar que países como a Índia, a China e boa parte dos países da África detêm uma renda *per capita* quase 10 vezes inferior à brasileira. Isto é, se a renda média *per capita* desses países crescer 10 vezes em 50 anos, estariam atingindo a renda média do Brasil HOJE! Dificilmente poderia se considerar isso aceitável, muito menos se este crescimento se der com a concentração de renda que nos caracteriza.

Continuando nossa análise, podemos ver que na Equação Mestra está implícita a inferência de uma relação linear entre renda *per capita* e consumo *per capita*. Desta forma caberia aqui discutir a validade desta relação, assim como também sua sustentabilidade no futuro.

Muitos são de opinião que nas sociedades mais desenvolvidas há uma tendência a dissociar o padrão de consumo do de qualidade de vida, atribuindo-se a isto o crescimento da consciência ambiental nas populações mais instruídas. Contudo, o mesmo argumento,

caso não se mostre consistente, pode nos levar a questionar se realmente está ocorrendo este crescimento da consciência ambiental da sociedade. A verificação, por exemplo, da retomada da moda de usar carros cada vez maiores, possantes e desperdiçadores de combustível, por parte das camadas mais opulentas da sociedade, é no mínimo preocupante. Compram-se, hoje, carros com tração nas quatro rodas e motores que têm um desempenho de cerca de 4.1 litros/km para ir fazer compras em *shopping centers*.

Países do Primeiro Mundo têm defendido medidas de controle populacional nos países mais pobres. Esta pressão tem sido exercida nas Conferências Internacionais sobre a População, mas, também, tem-se dado através de financiamento a programas que vão desde moderadas e equilibradas iniciativas de educação e planejamento familiar até programas de esterilização em massa.

Por outro lado, diversos pesquisadores apontam para o desequilíbrio nos níveis de consumo entre os países mais e menos desenvolvidos, como sendo o fator a ser atacado prioritariamente, de forma a se permitir a elevação das condições de vida nos países pobres, sem se degradar ainda mais o meio ambiente.

Parikh et al. (1994), do Instituto Indira Ghandi de Pesquisa para o Desenvolvimento, comparam o consumo *per capita* de diversos produtos, em países desenvolvidos e em desenvolvimento, no documento elaborado em 1991, com o objetivo de subsidiar as discussões da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, RIO-92. Estes mostram, por exemplo, que a relação de consumo *per capita* entre os países desenvolvidos e não desenvolvidos, respectivamente, é de 3/1 para cereais, 14/1 para papel, 20/1 para produtos químicos orgânicos e 24/1 para automóveis. A relação entre a produção anual *per capita* de CO₂ é de 8 para 1 (Tabela 1.2).

TABELA 1.2 – PADRÕES DE CONSUMO PARA MERCADORIAS SELECIONADAS INDIRA GHANDI INSTITUTE OF DEVELOPMENT RESEARCH PARA UNCED							
Produtos	Total Mundial	Participação %		Per Capita kg		Relação entre Consumo Per Capita	
	10 ⁶ Ton	Países desenv.	Países em desenv.	Países desenv.	Países em desenv.	Países desenv./ países em desenv.	EUW India
Cereais	1.801	48	52	717	247	3	6
Papel	224	81	19	148	11	14	115
Alum.	22	86	14	16	1	19	85
Qui. Inorg.	226	87	13	163	8	20	52
Qui. Org.	391	85	15	274	16	17	28
Autom.	370	92	8	0,283	0,012	24	320
CO ₂ anual	5.723	70	30	3,36	0,43	8	27

Fonte: adaptado de Parikh et al. (1991).

Voltemos para o denominado Fator 5. Caso esperemos um futuro mais digno para as parcelas mais pobres da população, princípio básico do desenvolvimento sustentável, teremos que considerar crescimentos da renda *per capita* da ordem de grandeza de 10 vezes, pelo menos para os 50% dos países mais pobres do mundo. Vejam só, se isto acontecer, e se pudéssemos imaginar que 50% dos países mais ricos do mundo abrissem mão de qualquer crescimento da sua renda *per capita*, para um crescimento populacional de 1,4% a.a, em 50 anos teríamos FATOR 10.

O Fator 10 também pode ser interiorizado se pensarmos em, mesmo com dados conservadores de crescimento populacional e de renda, ter como objetivo reduzir o nível de impacto ambiental, daqui a 50 anos, para metade do atual. Este raciocínio levou à criação do Clube do Fator 10 em 1993 (Weaver et al., 2000).

A Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) tem divulgado o conceito de Fator 10 no sentido de chamar a atenção da sociedade para a necessidade de se aumentar o ritmo de melhoria da produtividade dos recursos naturais

(Cinq-Mars, 1997; Peneda & Frazao, 1997; Schmidt-Bleek, 1997; Carr-Harris, 1997). Isto é, aumentar a ecoeficiência da produção e consumo 10 vezes em 50 anos.

Ecoeficiência:

É um conceito relativamente novo e vem sendo inserido aos poucos nas discussões sobre meio ambiente e qualidade como um todo. Segundo Henriques (1997), na União Européia, o conceito apareceu pela primeira vez, em um texto oficial, no ano de 1997. O conceito de ecoeficiência aborda não só a eficiência nas questões ambientais e econômicas, mas também nas questões sociais.

Como consumidores e cidadãos conscientes e mobilizados para as causas sociais e ambientais, podemos procurar interferir no sentido de controlar os impactos provocados no meio ambiente pelos dois primeiros fatores da Equação Mestra: aumento populacional e de renda *per capita*.

No entanto, quanto ao terceiro fator, impacto ambiental provocado por unidade de produção, a responsabilidade maior está nos setores produtivos e de pesquisa e desenvolvimento.

Questão para reflexão:

- Você acha possível reduzir o impacto ambiental dos nossos produtos e atividades 10 vezes nos próximos 50 anos?

Vamos esclarecer melhor este questionamento. Vejamos o caso dos tecidos fabricados com fibras sintéticas. Sua persistência no meio ambiente é muito superior àquela dos tecidos fabricados com fibras naturais, tais como o algodão. Com a moda pressionando para os consumidores substituírem o seu guarda-roupa uma ou mais vezes por ano, o impacto ambiental desses produtos cresceu consideravelmente. Consideremos, ainda, os pesticidas usados na agricultura intensiva e sua persistência no meio ambiente, o uso cada vez maior de embalagens, e o que falar da imensa produção de resíduos associada

a fraldas e outros produtos descartáveis que uma criança de família de classe média ou alta gera nos três primeiros anos de vida?

Graedel e Allenby (1998) realizaram um interessante trabalho ao agregar e analisar, comparativamente, informações referentes ao impacto ambiental do automóvel dos anos 50 e do automóvel dos anos 90. Os autores desenvolvem uma análise de ciclo de vida para os veículos, ou seja, utilizam um instrumento que avalia um produto “do berço ao túmulo”, desde a matéria-prima para sua fabricação até o descarte final. Eles avaliam seu impacto ambiental do “berço ao túmulo” desde a geração dos insumos para a sua fabricação até o descarte final do produto obsoleto, passando pelo seu uso. O estudo inclui não apenas o produto em si, mas toda a infra-estrutura a ele relacionada. Observe os dados, resultado dos estudos, nas Tabelas 1.3, 1.4 e 1.5.

TABELA 1.3 – DADOS COMPARATIVOS DE ASPECTOS AMBIENTAIS AUTOMÓVEL, ANOS 50 E 90							
Estágio do Ciclo de Vida	Anos	Aspectos Ambientais					
		Escolha de Materiais	Uso da Energia	Resíduos Sólidos	Efluentes Líquidos	Emissões Atmosf.	Total
Extração de matéria-prima	50	2	2	3	3	2	12/20
	90	3	3	3	3	3	15/20
Manufatura	50	0	1	2	2	1	6/20
	90	3	2	3	3	3	14/20
Distribuição	50	3	2	3	4	2	14/20
	90	3	3	3	4	3	16/20
Uso	50	1	0	1	1	0	3/20
	90	1	2	2	3	2	10/20
Recondicionamento, reciclagem, disposição	50	3	2	2	3	1	11/20
	90	3	2	3	3	2	13/20
Total	50	9/20	7/20	11/20	13/20	6/20	46/100
	90	13/20	12/20	14/20	16/20	13/20	68/100

Fonte: Graedel e Allenby (1998).

**TABELA 1.4 – DADOS COMPARATIVOS DE ASPECTOS AMBIENTAIS
INFRA-ESTRUTURA, ANOS 50 E 90**

Estágio do Ciclo de Vida	Anos	Aspectos Ambientais					
		Biodiversidade/ Materiais	Uso da Energia	Resíduos Sólidos	Efluentes Líquidos	Emissões Atmosf.	Total
Seleção e preparação do local da obra	50	0	1	0	1	1	3/20
	90	1	1	1	2	2	7/20
Manufatura da infra-estrutura	50	3	2	2	2	2	11/20
	90	2	1	2	2	3	10/20
Uso da infra-estrutura	50	2	2	3	3	1	11/20
	90	0	1	1	3	2	7/20
Sistemas complement.	50	2	3	2	3	1	11/20
	90	1	2	1	1	0	5/20
Recondicion., reciclagem, disposição	50	3	2	3	4	3	15/20
	90	2	2	2	4	3	13/20
Total	50	10/20	10/20	10/20	13/20	8/20	51/100
	90	6/20	7/20	7/20	12/20	10/20	42/100

Fonte: Graedel e Allenby (1998).

Em ambas as tabelas os valores superiores se referem aos anos 50, e os valores inferiores, aos anos 90. A pontuação máxima possível de ser alcançada por cada um dos itens é de quatro pontos. Então, por exemplo, na primeira tabela, para o item de extração de matéria-prima, nos anos 50, foram alcançados 12, do total de 20 pontos que poderiam ser alcançados somando todos os aspectos ambientais envolvidos na extração de matérias-primas; e para os anos 90, foram alcançados 15, do total de 20 pontos para os mesmos aspectos ambientais.

Os valores totais que representam o impacto ambiental do automóvel e a infraestrutura necessária para o seu uso, tomando-se como referência os anos 50 e os anos 90, apontam para resultados um tanto decepcionantes.

TABELA 1.5 – RESUMO DOS RESULTADOS

Infra-estrutura, anos 50 e 90	Automóvel	Infra-estrutura	Média
Anos 50	46	51	49
Anos 90	68	42	55

Evidentemente que o trabalho acima apresentado contém limitações, por exemplo, ao considerar os diversos aspectos ambientais com o mesmo peso ou importância. No trabalho original dos autores citados são apresentadas comparações mais elaboradas. Aqui se pretende apenas dar uma idéia da dimensão do avanço ambiental conseguido no caso do automóvel nesse período. Sua qualificação ambiental passou de 49 para 55. Basta lembrar de um modelo 50, como o Cadillac, por exemplo, e compará-lo com um modelo 90 para perceber que do ponto de vista de conforto, manobra e segurança, os avanços foram bem maiores. Se o automóvel em 40 anos, do ponto de vista ambiental, só teve esta evolução, como podemos esperar Fator 10 nos próximos 50 anos? A mesma pergunta caberia para qualquer outro bem de consumo.

Questão para reflexão:

- Aplique o raciocínio anterior a outro bem de consumo e tente perceber o que seria um aumento da ecoeficiência em Fator 10 em 50 anos.

1.2 A NECESSIDADE DE MUDAR DE PARADIGMA: DO FIM-DE-TUBO PARA A PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO

Vamos considerar que a resposta que você deu para a reflexão anteriormente proposta foi igual à nossa: otimista! Sim, podemos, nos próximos 50 anos, reduzir em Fator 10 o impacto causado pelo tipo de produtos que hoje produzimos, a partir de melhorias tecnológicas e modos de consumo. Isto é, a forma como consumimos e a tecnologia poderiam suprir os avanços necessários para estancar o processo de degradação ambiental provocado pelo crescimento econômico.

Vimos que os avanços ambientais decorrentes da evolução tecnológica do automóvel ficaram bem aquém deste patamar nos últimos 40 anos, mas a evolução tecnológica pode surpreender.

Contudo, que tipo de tecnologia ou evolução tecnológica seria capaz de tanto? A nossa velha tecnologia fim-de-tubo? Ou seja, mais e mais eficientes estações de tratamento de efluentes? Mais e mais eficientes filtros para retenção de materiais particulados das nossas chaminés? Maiores aterros sanitários e industriais? Mais incineradores?

Questão para reflexão:

- Para ilustrar o caminho que estaríamos trilhando se seguissemos esta linha de raciocínio, imaginemos um nordestino retirante que segue rigorosamente toda a legislação ambiental e de segurança do trabalho a partir do uso de tecnologia fim-de-tubo. Como ele conseguiria fazer isto? Pense um pouco antes de responder. Melhor ainda, tente representar graficamente nosso herói. Agora veja se o nosso herói parece com o que você idealizou:

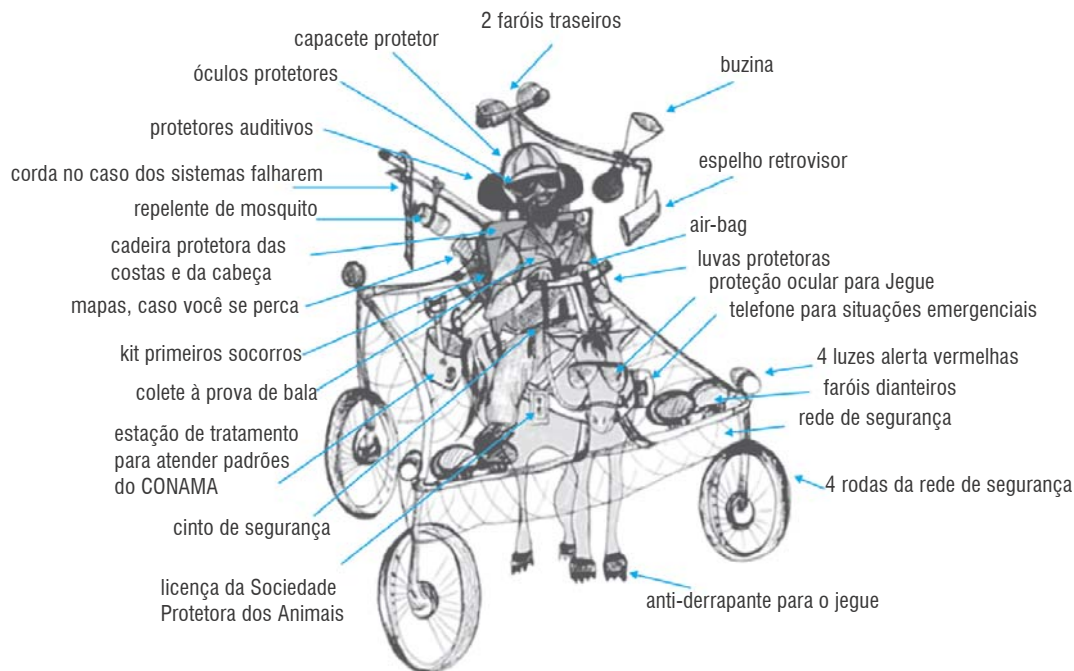


FIGURA 1.2 – NORDESTINO RETIRANTE

Claro que uma empresa engessada por inúmeras exigências pontuais de controle de emissões dificilmente teria como operar satisfatoriamente. Mais ainda, imaginemos o esforço que a mula do nosso nordestino terá que fazer apenas para deslocar os equipamentos de segurança e proteção ambiental. De forma similar, uma indústria que persistisse ou fosse obrigada a agir desta forma teria sérios encargos e custos adicionais. Por outro lado, nada estaria sendo feito para reduzir a extração de recursos naturais. Pelo contrário, mais matéria-prima e energia seriam demandadas para mover toda a parafernália de controle de poluição.

Se quisermos, de fato, dar uma opção mais segura para o nosso peão, nordestino retirante, teremos que pensar em uma outra rota para ele percorrer, que implique menos riscos e, conseqüentemente, menos equipamentos de proteção, sem que isto represente, é claro, menor proteção efetiva.

Para termos sucesso nesta busca da rota mais segura é preciso rever conceitos. O que são resíduos, senão matéria-prima mal aproveitada? O que são esgotos, senão um líquido composto de 99,95% de água (mal utilizada) e 0,05% de material sólido arrastado por esta? Pelo menos 50% das nossas emissões decorrentes de queima de combustível decorrem de perdas energéticas e desperdícios provocados pelas tecnologias utilizadas ou inadequação de práticas operacionais.

Poluição não é, senão, o produto de uma baixa eficiência no aproveitamento dos recursos naturais. Michel Porter, da Universidade de Harvard (EUA), e Claas van der Linde, da Universidade de St Gallen, na Suíça, utilizam o conceito de produtividade no uso de recursos naturais e humanos (*resource productivity*) para discutir a relação entre o desempenho ambiental e a competitividade das corporações. Eles afirmam que o crescimento desta produtividade faz as empresas mais competitivas e, neste sentido, regulações ambientais mais intensas, mas adequadamente elaboradas, elevam o valor das empresas (Porter e Class van der Linde, 1995).

Enfrentar o desafio de reduzir o impacto ambiental do processo produtivo, apenas correndo atrás de corrigir os problemas que nós próprios criamos, não parece ser muito racional. Claro que temos que corrigir todos os problemas que criamos, e para tanto deveremos também usar tecnologias de fim-de-tubo. Mas esta não é a solução

que estamos buscando. Precisamos nos conscientizar que o desafio agora não é criar problemas ambientais para depois resolvê-los. O desafio é não gerar poluição! Não gerar resíduos!

Os caminhos para a não geração de resíduos são vários: devemos repensar as matérias-primas que utilizamos e rever os processos de fabricação, discutindo por que estes geram perdas de material e energia, e considerando se algumas dessas perdas, devidamente processadas, não seriam insumos para outros processos. Devemos, ainda, estudar o transporte de insumos e produtos, as embalagens e a vida útil de produtos e o destino desses pós-consumo. Todas essas ações resultam na Prevenção da Poluição.

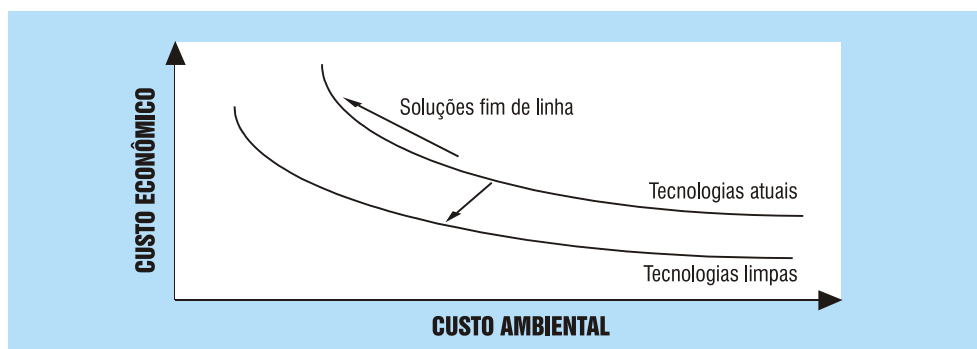
Leo Baas, da Universidade de Lund, na Suécia, tem se dedicado a organizar esses conceitos compilando definições que podem ser muito úteis. Vejamos a definição de Tecnologia de Baixo ou Nenhum Resíduo (LNWT – Low or No Waste Technology), proposta pela Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa em 1984 (Baas, 1996):

“(...) um método de manufatura (processo, planta industrial, complexo industrial) onde a totalidade de matérias-primas e energia é utilizada da forma mais racional e integrada no ciclo produtivo: matérias-primas-produção-consumo-recursos materiais secundários, de forma a prevenir qualquer impacto negativo no ambiente que possa afetar seu funcionamento normal. Num sentido mais amplo, a tecnologia de baixa poluição e sem resíduos se preocupa não apenas com processos produtivos, mas também com o destino dos produtos num tempo de vida mais longo, seu fácil conserto e o seu reciclo e transformação após uso, de forma a prevenir danos ecológicos. O objetivo é atingir um ciclo tecnológico completo para o uso dos recursos naturais, compatível ou similar aos ecossistemas naturais.”

Esta é uma definição interessante? Que seja, mas não vamos fechar os conceitos agora (nem nunca!). Vamos usá-la como uma referência inicial que será aprofundada ao longo deste capítulo.

Questão para reflexão:

- Roland Clift, da Universidade de Surrey, ao sul de Londres, ilustra a evolução de práticas de fim-de-tubo para tecnologias limpas com o seguinte gráfico apresentado na Figura 1.3, abaixo. Como você usaria o conceito de inovação nesta interpretação? Tente interpretá-lo e responda.



Fonte: CLIFT, 1993, em CHRISTIE; et al., 1995.

FIGURA 1.3 – PRODUÇÃO LIMPA E LIMPEZA DE PROCESSOS

1.3 BARREIRAS A SUPERAR

Mas, afinal de contas, se Prevenção da Poluição é a opção mais óbvia, por que tanto esforço para implementá-la?

Boa pergunta! Você poderia ajudar a respondê-la?

Na realidade, nem sempre novas propostas nascem óbvias. Elas assim se tornam depois de se mostrarem bem-sucedidas e, ainda assim, podem não ser implementadas na medida do esperado. Um exemplo próximo ao nosso tema seria o de ações preventivas e ações curativas da saúde. Alguém discordaria da prioridade sanitária ou econômica da implantação de ações de saneamento básico? Mesmo assim, aproximadamente 50% da população brasileira nos centros urbanos tem acesso a redes de esgotos (fonte: OMS/UNICEF).

Você já elaborou sua resposta à pergunta acima?

Vamos tentar dar a nossa. Primeiro, de um modo gráfico; depois, apresentando algumas informações complementares.

Os profissionais que operam processos produtivos tendem a se enclausurar nos seus próprios métodos e paradigmas. Eles se aprofundam nas peculiaridades inerentes à tecnologia da produção e em torno dela circulam suas experiências. A Figura 1.4 representaria esta afirmação:

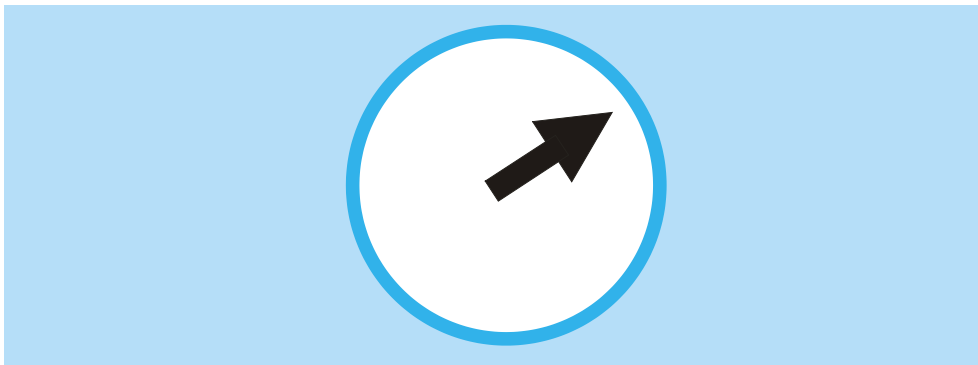


FIGURA 1.4 – SISTEMA NÃO INTERATIVO CORRESPONDENTE À LÓGICA DO PROJETISTA E DO OPERADOR DO PROCESSO

O conhecimento circulando principalmente dentro da fábrica, ou dentro da lógica do setor.

Por outro lado, as pressões ambientais foram geradas a partir da constatação da degradação dos recursos naturais e dos impactos provocados na saúde da população. Grandes acidentes ambientais contribuíram para o crescimento da demanda ambientalista e para a organização da sociedade nesta direção.

Na busca por soluções para os problemas ambientais, os setores organizados e as agências ambientais partem na direção dos empreendimentos geradores das cargas poluidoras. O embate entre ambientalistas e setores produtivos ocorre nos limites das fábricas. Ao lado do fim do tubo que lança o efluente no rio e em volta da chaminé

que descarrega suas emissões na atmosfera, nada mais natural do que se acordar na implantação das chamadas “*soluções fim-de-tubo*”.

Era o óbvio, e o que a sociedade exigia. Por outro lado, o pensamento produtivo mantém sua autonomia e poder de decisão. Cria-se a indústria ambiental com o objetivo de adequar a carga poluidora das emissões industriais à capacidade receptora dos corpos ambientais e, portanto, com a necessidade de considerar os fatores externos de interação e identificar alternativas tecnológicas para a melhoria do desempenho ambiental. Ver Figura 1.5:

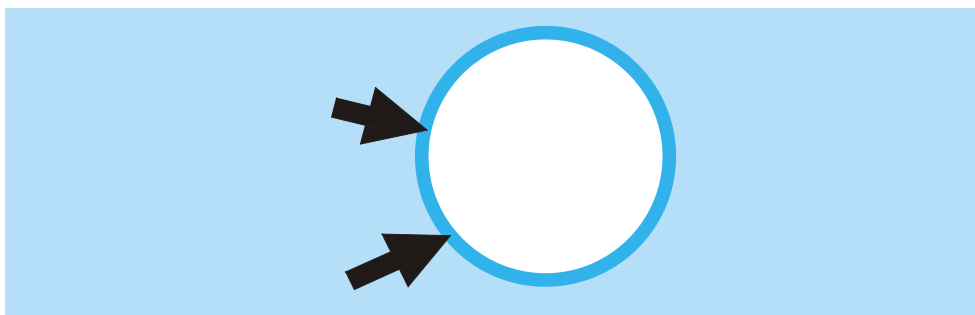


FIGURA 1.5 – LÓGICA DO CONTROLE EXTERNO SOBRE OS POLUENTES

As tecnologias fim-de-tubo se caracterizam pelo baixo valor dos seus subprodutos, pelo alto custo da sua implementação e pelo fato de não eliminar os poluentes, mas apenas transferi-los de um meio receptor para outro.

A prevenção da poluição representa um novo paradigma para equacionar o problema da poluição, pois transfere o eixo da discussão dos limites da fábrica para o interior do processo produtivo (Figura 1.6). Para tal, torna-se necessário identificar as causas da geração de resíduos, que estão normalmente associadas às falhas no processo produtivo. Gerar resíduos implica custos adicionais com: perdas de matéria-prima, custos para tratamento e disposição final.

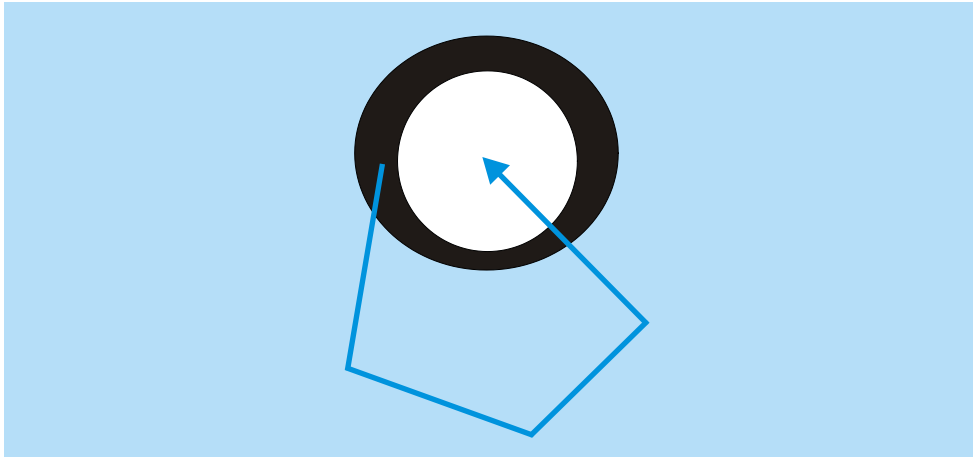


FIGURA 1.6 – A MUDANÇA DE LÓGICA PARA TECNOLOGIAS LIMPAS

As práticas ambientais adotadas na produção pelas empresas e sociedade, em geral, determinam as políticas ambientais e vice-versa. O importante é perceber a necessidade do alinhamento entre estas, para que o discurso seja coerente com a prática.

Questão para reflexão:

- Como você interpretaria a prioridade dada nos dias de hoje às medidas “fim-de-tubo”?

Analisando a evolução do comportamento das empresas em relação ao meio ambiente observamos que, ao longo dos anos, o meio ambiente foi considerado um aspecto de segunda ordem ou de menor importância, para o setor produtivo, tanto no campo econômico como no técnico. No campo econômico, ele tem sido tratado como uma externalidade. No campo técnico, medidas de controle da poluição têm sido tomadas (no melhor dos casos) para adequar as emissões aos padrões exigidos, sejam esses padrões de lançamento ou de concentração máxima no corpo receptor.

Historicamente, a regulamentação ambiental tem ocorrido em função da ocorrência de grandes acidentes. A crise do *smog* londrino de 1952 provocou o Ato do Ar Limpo (Clean Air Act) de 1956, no Reino Unido. O acidente de Seveso, na Itália, desencadeou a publicação de uma diretiva sobre Riscos de Acidentes Industriais por parte da Comunidade Européia.

Questão para reflexão:

- Pesquise os acidentes citados, resuma-os utilizando meia página para cada. Apresente dois outros acidentes ambientais de importância, sendo um de abrangência internacional e outro de abrangência nacional. Aponte os seus desdobramentos em termos de medidas legais adotadas após sua ocorrência.

As medidas de controle ambiental têm se fundamentado na aplicação de padrões de lançamento de emissões, expressas na forma de concentrações de poluentes ou de cargas, e/ou na fixação de concentrações máximas admitidas nos corpos receptores. Um exemplo claro disto é a Resolução CONAMA 20, de 1986.

Um dos princípios aprovados em Estocolmo, em 1972, estabelece que deve ser controlado o lançamento de substâncias tóxicas, ou outros compostos, no meio ambiente, se as quantidades ou concentrações destes excederem sua capacidade de absorção. Em 1975, a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) popularizou o Princípio do Poluidor Pagador. Este princípio estabelece que o produtor deve se responsabilizar pelos custos ambientais, assim como os provocados a pessoas e propriedades. A ótica que prevaleceu nos anos 70 foi de aceitação do inevitável lançamento de poluentes no meio ambiente, estabelecendo-se medidas para seu controle. Procurou-se transferir os custos ambientais para os produtores, de forma que estes assumissem as medidas cabíveis para minimizar seu impacto.

Questão para reflexão:

- Analise o Princípio do Poluidor Pagador e o impacto deste no setor produtivo.

Uma coisa é certa: o Princípio Poluidor Pagador trata de uma visão na qual a relação com o meio ambiente só faz agregar custos ao processo produtivo. Neste sentido, a tecnologia ambiental representa a interface que tem por objetivo adequar os lançamentos à capacidade do corpo receptor.

A rápida expansão da produção industrial e dos seus impactos obrigou o aprimoramento da compreensão da relação produção–meio ambiente. O meio ambiente passou a ser visto não apenas como um conglomerado de corpos receptores. A preservação da

natureza tornou-se um valor em si mesmo. Além disso, novas funções são reconhecidas: a natureza como fornecedora de recursos, renováveis ou não, cuja preservação se constitui em pré-requisito para a continuidade da atividade produtiva; a natureza como fornecedora de informações fundamentais para o desenvolvimento tecnológico.

A sociedade, em geral, e os órgãos ambientais, em particular, passaram a exigir da indústria a adoção das “melhores técnicas” para os tratamentos fim-de-tubo, não bastando atender a determinados padrões ambientais, exigindo do setor produtivo a utilização das melhores opções tecnológicas existentes.

Isto, de certa forma, quebrou uma barreira na relação entre as agências reguladoras e os agentes produtivos. Os fiscais passaram de meros controladores de descargas para avaliadores das tecnologias utilizadas para tratar as emissões. Mesmo que inicialmente utilizada para exigir melhores tratamentos fim-de-tubo (Baas, 1996), o uso desta exigência começou a transferir a discussão ambiental para o interior das fábricas.

Nem sempre, contudo, a melhor técnica disponível está ao alcance da empresa avaliada. Surge a necessidade de se encontrar critérios que levem em consideração a capacidade do produtor de pagar pela melhor técnica disponível no mercado para abater determinados poluentes. Às exigências de aplicação da melhor tecnologia disponível (BAT – Best Available Technology) agregam-se considerações econômicas e surgem as melhores técnicas economicamente disponíveis.

Tendo a discussão das medidas de controle ambiental atingido o interior das fábricas, trazendo, inclusive, critérios econômicos para a decisão das técnicas a serem adotadas, não tardaria para o conceito de prevenção vir a ser considerado.

Nesta última década, avanços importantes aconteceram. A partir do Tratado de Maastricht (1992), a Comunidade Européia adotou o Princípio da Precaução, o qual estabelece que a possibilidade de um impacto ser causado por determinados processos ou produtos deve ser considerada como um fato, mesmo não existindo informações suficientes que o comprovem. Com dezenas de milhares de novos compostos sendo sintetizados anualmente, este princípio, que uma década antes pareceria impensável, desponta como indispensável.

Este princípio também determina que ações contundentes devem ser tomadas, mesmo antes de existirem provas científicas de causa-efeito. O ônus da prova passa da vítima para o empreendedor (O’Riordan, 1995), e, nesse sentido, o cuidado com a gestão do processo de produção passa a ganhar nova importância.

Questão para reflexão:

- Discuta o Princípio da Precaução e o impacto deste no setor produtivo.

Ainda na década de 90, o princípio do Desenvolvimento Sustentável ganhou espaço em nível mundial, a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, RIO-92. Inicialmente definido pela Comissão Brundtland (1983), este princípio estabelece que o desenvolvimento atual não deve comprometer a capacidade de gerações futuras de também atenderem às suas necessidades.

Em 1990, o Parlamento britânico aprovou o Ato de Proteção Ambiental, EPA 90, que estabelece a política do Controle da Poluição Integrado (IPC). Este documento aponta para dois instrumentos, que devem ser utilizados pelas empresas potencialmente poluidoras:

- a melhor tecnologia disponível que não implique custos excessivos, BATNEEC (Best Available Technique Not Entailing Excessive Cost), e
- a melhor opção ambiental praticável, BPEO (Best Practicable Environmental Option), (DOE, HMIP, 1991).

O documento acima define BATNEEC como técnicas que permitem prevenir a emissão de substâncias prescritas, exige que, caso a prevenção não seja possível, as emissões devem ser minimizadas e tornadas inofensivas e introduz uma gradação de prioridades com ênfase para a prevenção. Esta visão foi também adotada na Comunidade Européia no Ato de Prevenção e Controle Integrados da Poluição (IPPC/95).

Um outro aspecto a ser observado na legislação britânica e européia recente diz respeito à ampliação do conceito de tecnologia utilizado. O termo *technique* é utilizado para abranger não apenas a tecnologia propriamente dita, mas os aspectos gerenciais e operacionais a ela relacionados.

Mesmo assim, o conceito das melhores tecnologias não consegue se desvincular das práticas de fim-de-tubo com as quais estiveram inicialmente associadas.

Instrumentos econômicos também têm sido intensamente utilizados para controlar a poluição, permitindo grande flexibilidade na aplicação, podendo promover também a adoção de medidas inovadoras nos processos produtivos.

Entre estes citamos:

- Inserção de custos na produção a partir da cobrança de multas pela emissão de poluentes ou cobrança de taxas pelo uso de equipamentos para o descarte final de resíduos.
- Oferta de subsídios e/ou incentivos fiscais na adoção de formas mais limpas de produção.
- Autorizações de emissão (TEPs – Tradeable Emission Permits).

Dentre os instrumentos apresentados, as TEPs representam a forma mais nova de encarar os problemas ambientais. A idéia baseia-se na criação de um mercado de quotas ambientais sujeito a normas predefinidas. Isso oferece aos empreendedores maior liberdade para achar soluções de menor custo e menor impacto ambiental. Empresas poluidoras podem se articular para definir o elenco de medidas que cada uma deverá tomar para atender aos padrões ambientais fixados pelos organismos reguladores. De outro lado, nenhum impacto adicional é gerado porque os níveis gerais de emissões são controlados (Turner, 1995).

Questão para reflexão:

- Apresente duas situações nas quais têm sido utilizadas as permissões de emissão negociáveis, ou nas quais seria interessante utilizá-las. Comente as vantagens e desvantagens da sua aplicação.

As idéias mais recentes de Prevenção da Poluição (P2) ampliam as opções a serem consideradas para o equacionamento da relação produção e meio ambiente.

Segundo Joseph Ling, ex-vice-presidente da empresa 3M, em 1975 esta empresa lançou seu programa P3, Prevenção da Poluição se Paga (Shen, 1995), o qual sustentava que a redução ou eliminação da poluição na fonte permitiria eliminar ou reduzir os custos de tratamento e limpeza e, ao mesmo tempo, a conservação de matérias-primas, tornando o processo produtivo mais eficiente e menos custoso. A Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa convidou a empresa a apresentar esta proposta em Paris, no ano de 1976, no seminário Princípios e Criação de Tecnologia sem Resíduos, propondo sua divulgação.

Apesar de a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) promover no fim da década de 70 discussões sobre prevenção da poluição, o Congresso americano só deu o devido valor ao enfoque preventivo quando o assunto dos resíduos perigosos tornou-se público. Em 1989 a EPA montou seu Escritório de Prevenção da Poluição, e um ano depois o Congresso do Estados Unidos aprovou o Ato de Prevenção da Poluição (Ling, em Shen, 1995).

FECHAMENTO

Neste capítulo procuramos chamar a atenção para a necessidade de imprimir um ritmo mais acelerado à redução do impacto ambiental das atividades produtivas e dos produtos em si. Vimos que os avanços tecnológicos não se mostram suficientes para garantir um desenvolvimento sustentável, se for mantida a postura, hoje predominante, de tentar controlar a poluição com base em medidas do tipo Fim-de-tubo. O Fator 10 tem que ser atingido em um prazo inferior a 50 anos.

Discutimos possíveis razões para entender por que essas medidas acabaram sendo priorizadas em detrimento da Prevenção da Poluição. Ampliamos a visão conciliando interesses econômicos e ambientais com base na compreensão de que poluição é um indicador de ineficiência no uso dos recursos naturais e financeiros. Entendemos que para as corporações se tornarem mais competitivas, elas devem enfrentar o desafio ambiental como uma oportunidade para inovar.

Constatamos, também, que a prática de Prevenção da Poluição vem crescendo cada vez mais no mundo e hoje muitas empresas já apresentam excelentes resultados.

CAPÍTULO 2

PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS

Asher Kiperstok
Marc Rosen

Universidade Federal da Bahia • UFBA • TECLIM
University of Ontario Institute of Technology*

“ (...) o medo ecológico é um medo planetário. “A Terra ameaçada”, “A Terra com a corda no pescoço”, “A Terra em perigo de morte”, “A natureza na U.T.I.”, “Nós só temos um planeta”, dizem as manchetes dos jornais, as capas de revistas, os programas de televisão, construindo a ecologia-espetáculo que, incrédulos ou persuadidos, habituamo-nos agora a contemplar. ”

Alphandéry, Bitoun e Dupont

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever os impactos ambientais mais significantes, suas causas e abrangências.
- Analisar as categorias de impacto.
- Enquadrar as questões ambientais por categoria.
- Avaliar a redução dos impactos com a visão da

No capítulo anterior discutimos, entre outras coisas, a evolução de alguns princípios ambientais.

Esta evolução se deu em razão do avanço dos impactos causados pelo homem sobre o meio ambiente. De forma geral, o agravamento das condições ambientais foi exigindo um aprimoramento dos meios necessários para a reversão dos problemas gerados. Soluções do tipo fim-de-tubo não são mais suficientes para enfrentar os problemas.

Mas de que problemas estamos falando? Claro que todos nós temos uma resposta para esta pergunta. Vamos neste capítulo nos pôr de acordo ou estabelecer uma base comum sobre os problemas ambientais mais relevantes, suas causas e abrangências.

Não esperemos chegar a uma visão única quanto à gravidade destes ou com relação à prioridade que deve ser dada na sua reversão. Nossas visões dependem da nossa realidade, assim como das informações que detemos e das experiências que vivemos. Uma visão abrangente desses problemas é importante para que possamos esclarecer o que esperamos ao implementar programas de P2.

* A contribuição de Marc Rosen foi traduzida do inglês e incorporada ao texto pelos autores brasileiros.

Para conseguir uma razoável cobertura dos problemas ambientais, vamos seguir dois caminhos: primeiro, vamos propor a construção de uma listagem com a contribuição de todos e de cada um de nós; num segundo momento, vamos discutir as principais categorias para enquadramento dos problemas ambientais e procurar alocar os problemas listados nas categorias indicadas.

Por último, discutiremos as medidas cabíveis para reverter os problemas relacionados e o papel da P2 nesta tarefa.

2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS: QUAIS SÃO?

Aos alunos:

Quais são, afinal, esses tão falados impactos ambientais? Você pode imaginar pelo menos cinco impactos causados pelo homem que podem ser prejudiciais ao meio ambiente ou à saúde humana? Ou, ainda, algumas causas para esses problemas? Tente listar alguns desses impactos.

Vamos conferir alguns?

- Deposições ácidas.
- Mudança climática e efeito estufa.
- Degradação da qualidade das águas subterrâneas.
- Degradação de águas superficiais.
- Degradação do solo.
- Redução de habitat e biodiversidade.
- Buraco da camada de ozônio.
- Névoas fotoquímicas (smog).
- Degradação das condições de habitabilidade urbana.
- Inserção de substâncias tóxicas na cadeia alimentar.
- Outros problemas ambientais.

Vamos agora fazer um breve resumo dos impactos citados considerados mais importantes e suas implicações.

DEPOSIÇÕES ÁCIDAS

As nuvens, chuva, orvalho e névoa já são naturalmente um pouco ácidas, em função da dissolução do gás carbônico e a conseqüente formação de ácido carbônico. O pH da chuva normalmente se situa em torno de 5,6. Emissões atmosféricas de dióxido de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (VOCs), decorrentes das atividades humanas, conduzem à formação de ácido sulfúrico, ácido nítrico, ozônio e peróxido de hidrogênio, e, por conseguinte, causam aumento na acidez da precipitação. Em alguns lugares da Europa e dos Estados Unidos chegam a se verificar chuvas com pH na faixa de 3,0 (Davis e Cornwell, 1998). O exemplo da acidificação das encostas da Serra do Mar em torno de Cubatão, São Paulo, o ataque à cobertura vegetal e a conseqüente desestabilização de alguns locais da encosta ilustram este problema.

Um dos maiores responsáveis por esse processo é a queima de combustíveis fósseis. Emissões provenientes de perdas de combustíveis e outros compostos para a atmosfera contribuem também com este problema. Enquanto que os compostos de enxofre decorrem da presença deste elemento no óleo cru, os NO_x são formados principalmente pela oxidação do nitrogênio atmosférico em condições de combustão que podem ser evitadas. O uso de petróleo de baixo teor de enxofre reduz este problema. Alternativamente, o enxofre pode ser removido da linha de produção de combustíveis nas refinarias de formas variadas, inclusive na forma de enxofre elementar.

Emissões de VOCs são, antes de tudo, perdas indesejáveis de produtos para a atmosfera, decorrentes de condições inadequadas de transporte, armazenamento, carga e descarga. Em países como os Estados Unidos e Reino Unido, cuja matriz energética se baseia fundamentalmente na queima de combustíveis fósseis, as centrais termoeletricas se constituem em fator central na geração de SO_x . Neste sentido, a substituição do carvão mineral pelo gás natural, a partir da exploração intensiva deste combustível no Mar do Norte, representou uma redução substancial do problema no Reino Unido. No Brasil, a queima de combustível no transporte rodoviário se destaca entre as fontes deste problema, associado com as fontes de poluição industrial. Medidas de aumento da eficiência energética dos processos produtivos, a racionalização do transporte e melhoria de transporte coletivo estão entre as principais medidas a serem consideradas.

Uma das maiores consequências decorrentes das deposições ácidas é a acidificação do solo e dos sistemas aquáticos, ocasionando perda de fertilidade. Além disso, provoca sérias perdas econômicas e culturais ao corroer edificações, equipamentos e obras-de-arte.

MUDANÇA CLIMÁTICA E EFEITO ESTUFA

Mudanças no clima acontecem naturalmente, mas há uma tendência a acreditar que essas mudanças vêm sendo mais pronunciadas devido às atividades humanas durante o último século.

A temperatura global média aumentou 0,5°C desde a Revolução Industrial (Houghton et al., 1990). Neste mesmo período ocorreu um marcante aumento no lançamento de gases que conduzem ao aquecimento, especialmente dióxido de carbono oriundo da queima de combustíveis fósseis (Boden et al., 1990), e foi observado que houve um aumento significativo na concentração de gás carbônico na atmosfera (de aproximadamente 280 ppm em uma base de volume, em 1800, para aproximadamente 350 ppm, em 1990) (Houghton et al., 1990), gerando o conhecido efeito estufa. O acúmulo de CO₂ na atmosfera cria uma camada que aumenta a reflexão de ondas de calor de volta à Terra.

Alguns pesquisadores prevêem, para as próximas décadas, um aumento na temperatura global da ordem de 0,5°C a 5°C, juntamente com numerosos efeitos correspondentes, como, por exemplo, uma elevação do nível do mar de 20-40cm, o que levaria à inundação de muitas cidades litorâneas. A avaliação dessas medidas meteorológicas ocorre em períodos de 25 anos.

A causa principal do aquecimento global é o aumento de lançamento dos gases associados ao efeito estufa. Estes gases absorvem radiação na faixa de 8-20 micrômetros (Graedel e Allenby, 1995), e assim interferem no balanço energético da Terra.

Alguns exemplos dos gases associados ao efeito estufa são:

- CO₂ (gás carbônico);
- CFCs, como R-11 (CFC-113) e R-12 (CF₂Cl₂)
(compostos de cloro, flúor, carbono);

- CH_4 (metano);
- NO_x (óxidos de nitrogênio).

Um balanço energético da Terra pode ser descrito da seguinte forma:

$$\text{Entrada energética} - \text{Saída energética} = \text{Acumulação de energia}$$

A energia de entrada absorvida pela Terra é de radiação solar de onda pequena; já a saída de energia emitida para o espaço é de radiação solar de onda longa.

O resultado desta equação é o aumento dos níveis de energia (na forma de calor) da Terra e de sua atmosfera.

Algumas implicações básicas deste balanço energético global são descritas a seguir:

- O resultado da equação é zero quando não há ocorrência de aquecimento global, o que implica que a entrada e a saída de energia são iguais.
- Quando as concentrações dos gases associados ao efeito estufa aumentam na atmosfera, a saída de energia é reduzida, enquanto que a entrada de energia permanece constante. Dessa forma, ocorre acumulação de energia, aumentando a temperatura da Terra.
- Eventualmente, se as concentrações desses gases se estabilizam em outro patamar, um equilíbrio de energia é restabelecido numa temperatura planetária média, maior.

A redução do ritmo de produção dos chamados gases estufa é a principal medida a ser tomada para combater este problema. Mais recentemente, contudo, têm sido introduzidos incentivos para a retirada ou seqüestro do CO_2 da atmosfera. Entre os mecanismos para promover esta retirada incluem-se o plantio de florestas novas e a captação de CO_2 para injeção em reservatórios de petróleo. Contudo, as medidas de maior impacto são aquelas que levam a uma redução das emissões. Entre estas, podem ser citadas a otimização do uso da energia e a substituição de fontes tradicionais pelas chamadas fontes alternativas de energia.

Alguns autores apontam para a necessidade de “descarbonização” da economia mundial. Isto é, reduzir a relação entre riquezas produzidas e a quantidade de CO₂ gerada. Na implementação de programas de P2 deve-se identificar oportunidades para a eliminação de ineficiências energéticas, que geralmente são muito altas.

DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Só para termos uma idéia da quantidade total de água existente no planeta, 97,13% se encontram nos mares e oceanos. Dos 2,87% de água doce restantes, 77,2% estão concentrados nas geleiras e calotas polares; 22,4%, no subsolo; 0,35%, nos lagos e pântanos; 0,04%, na atmosfera; e apenas 0,01%, nos rios. Portanto, as águas subterrâneas são fundamentais em muitas partes do mundo, até mesmo como a principal fonte para o consumo humano.

Há dois tipos de preocupações principais com relação à degradação de águas subterrâneas:

- **Quantidade**, porque a extração de águas subterrâneas reduz o atual potencial hídrico;
- **Qualidade**, porque a pureza da água está sendo degradada pela poluição.

Entre as principais causas da degradação da qualidade das águas subterrâneas incluem-se:

- efluentes líquidos, principalmente provenientes de processos industriais;
- atividades agrícolas;
- aterros sanitários, mal projetados ou operados;
- disposição de efluentes líquidos em poços;
- vazamentos de petróleo e seus derivados;
- lançamento de outras substâncias químicas;
- esgoto doméstico;
- aplicação de pesticidas e herbicidas;
- percolação do chorume de aterros, principalmente os industriais.

A rigor, a alteração da qualidade da água pode ser decorrente também de causas naturais, mas normalmente esta não é a forma que mais preocupa. A poluição decorrente das atividades desenvolvidas pelo homem é a que deve merecer os cuidados especiais.

A divulgação dos grandes acidentes ambientais, como os derramamentos de óleo, desvia um pouco a atenção para o problema da contaminação contínua a que estão sujeitos os mananciais de água, tanto subterrâneos como superficiais, principalmente por substâncias tóxicas e persistentes. Vazamentos de tanques de combustíveis nos postos de gasolina, lançamento de óleo lubrificante no solo, penetração de efluentes industriais no solo pela falta de estanqueidade das canalizações que os transportam. Boa parte destes impactos se deve a perdas de matérias-primas para o solo. Sua redução implicaria, então, não apenas numa efetiva redução do impacto ambiental causado, como, também, em ganhos econômicos para os nossos negócios.

USO DE HERBICIDAS E PESTICIDAS

É interessante refletir sobre as atividades agrícolas, o uso de pesticidas, herbicidas e o impacto destes não só para as águas subterrâneas, como também para o solo, para as águas superficiais e o meio ambiente como um todo.

Os herbicidas são substâncias empregadas na destruição de ervas daninhas, e os pesticidas são substâncias empregadas no combate às pragas. Eles foram concebidos como elementos causadores de danos a alguns sistemas biológicos, sendo, portanto, diretamente, motivo de preocupação ambiental.

O indesejável dano ambiental e biológico causado por herbicidas e pesticidas ocorre por:

- toxicidade das combinações usadas;
- longo tempo de degradação das combinações no ambiente;
- intensidade de aplicação;
- métodos de aplicação utilizados.

Pressões para o aumento de produção de alimentos tendem a aumentar o uso de herbicidas e pesticidas. Estudos indicam que o uso deles pode ser reduzido por:

- otimização cuidadosa do uso, para que a aplicação só atinja a parte da planta que deve de fato ser tratada, para que ocorra o mínimo impacto ambiental;
- uso de métodos de controle alternativos para ervas daninhas e outros tipos de pragas prejudiciais às plantas.

SITES INTERNET

Vale a pena dar uma olhada! A seguir sugerimos alguns sites interessantes sobre a água, onde você pode encontrar informações a respeito do ciclo da água, das previsões futuras de sua escassez, da importância da evaporação no déficit hídrico, etc.

<http://www.proagua.gov.br>

<http://www.cnrh-srh.gov.br>

<http://www.hidricos.mg.gov.br>

DEGRADAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS

A qualidade e a composição química das águas superficiais são afetadas pelo próprio ambiente natural (configuração, tipo de ambiente circundante, etc.), mas os impactos causados pela atividade humana merecem especial destaque.

As mudanças na composição química das águas superficiais, associadas às atividades humanas, são geralmente causadas por:

- emissões diretas (por exemplo: esgotos sanitários, excedentes de fertilizantes, efluentes industriais e derramamentos de óleo);
- emissões indiretas (por exemplo: incidência de contaminantes atmosféricos nas águas, chuvas ácidas).

Entre as principais preocupações com a qualidade das águas de superfície estão:

- concentração de organismos, tais como vírus e bactérias patogênicos e redução dos níveis de oxigênio dissolvido na água em razão do lançamento descontrolado de esgotos sanitários. É comum encontrarmos nas nossas cidades cursos d'água em condições anaeróbias, com o característico mau cheiro destes processos;
- lançamento de efluentes contendo substâncias tóxicas que irão se bioconcentrar ao longo da cadeia alimentar. Frequentemente, o lançamento deste tipo de compostos se dá associado ao descarte de compostos orgânicos

biodegradáveis consumidos como alimentos pelas espécies aquáticas, agravando o quadro de inserção de tóxicos na cadeia alimentar;

- acidificação de lagos e rios (ocorre frequentemente devido à precipitação ácida). O nível em que isso ocorre varia para cada corpo de água, porque alguns corpos podem retardar os efeitos melhor do que outros, dependendo das características do solo e da rocha adjacente ao corpo d'água;
- assoreamento provocado pelo arraste de substâncias que se depositam no fundo dos rios, diminuindo a profundidade do leito;
- eutrofização, fenômeno causado por processos de erosão, arraste e decomposição de restos de material orgânico, que fazem aumentar a concentração de nutrientes como N-nitrogênio e P-fósforo no meio aquoso, provocando a proliferação de algas, o que torna a água turva, dificultando a fotossíntese e, conseqüentemente, reduzindo a concentração de oxigênio dissolvido, aumentando a toxidez do meio e matando os organismos que nele vivem.

A degradação e exaustão dos recursos hídricos vêm-se agravando de forma acentuada, colocando o assunto no centro das atenções ambientalistas do mundo inteiro. Um dos principais fatores que tem contribuído para gerar esta situação e dificultar sua solução tem sido o uso irracional dado à água. Consumos desnecessários, perdas e desperdícios permeiam a realidade do trato dos recursos hídricos. A minimização das perdas, a otimização do uso, o reuso e o reciclo entram cada vez mais na pauta da gestão dos processos produtivos.

Questão para reflexão:

- Levante exemplos de duas áreas ou locais severamente atingidos por algum dos problemas acima citados e comente.

DEGRADAÇÃO DO SOLO

Práticas agrícolas inadequadas e a disposição de resíduos tóxicos são as principais causas deste problema.

A produção agrícola tem-se fundamentado no uso intensivo do solo com técnicas baseadas numa mecanização pesada e no uso de fertilizantes e praguicidas sintéticos. Isto tem conduzido a uma exaustão precoce e à perda de áreas agricultáveis devido ao problema da erosão. A introdução de práticas menos agressivas de manejo do solo agrícola, que leve em consideração a lógica natural dos ecossistemas, vem crescendo.

A denominada agricultura orgânica procura seu lugar no mercado, alicerçada na oferta de produtos livres de compostos tóxicos, nocivos à saúde humana. Sua evolução poderá oferecer as alternativas necessárias para atender às necessidades humanas com menor impacto ambiental. Mesmo dentro da chamada agricultura tradicional existe grande espaço para se reduzir seu impacto ambiental, a partir do uso mais racional dos insumos agrícolas.

O solo tem sido um dos destinos mais utilizados para a disposição de resíduos tóxicos de origem industrial. Mais do que a implantação de soluções para a disposição final “adequada” deve-se procurar a minimização da geração desses resíduos e, principalmente, a redução, e até a eliminação, do uso de compostos tóxicos.

O solo pode ser um importante aliado na prevenção da degradação das águas subsuperficiais, pois tem a capacidade de filtrar, acomodar e diluir contaminantes, enquanto eles se movem em direção às águas subterrâneas.

As principais propriedades físicas e químicas do solo que definem suas “características” e que, conseqüentemente, influenciam o destino dos compostos tóxicos são: classe do solo, porosidade, permeabilidade e área superficial, conteúdo de matéria orgânica e capacidade de troca de cátions.

Atenção!

Na verdade, os diversos meios físicos aqui discutidos separadamente não são isolados uns dos outros. Eles se encontram interligados, de modo que uma contaminação do solo geralmente leva a problemas de contaminação do lençol freático, assim também como há uma troca intensa entre a superfície marinha e o ar.

REDUÇÃO DE HÁBITAT E BIODIVERSIDADE

Ecossistema pode ser definido como um conjunto estrutural e funcional onde organismos vivos interagem com o ambiente físico-químico, de modo a haver interdependência entre estes segmentos naturais. Dessa forma, qualquer alteração em qualquer um dos elos da cadeia (componentes bióticos e abióticos) altera o ecossistema como um todo.

A extinção da fauna e da flora está ocorrendo, na maioria dos casos, devido às atividades antrópicas, conduzindo a uma série de impactos, tais como:

- quebra de cadeias alimentares; e
- redução na diversidade genética.

Isso pode limitar, por exemplo, o potencial para a criação de novos medicamentos e novas formas de energia, de biomassa.

Redução na biodiversidade é causada, em grande parte, pelas perdas e/ou fragmentação de habitats naturais, decorrentes da expansão urbana, aumento de áreas dedicadas a usos agrícolas, desmatamento associado a uma série de usos, exploração acentuada dos recursos naturais e inserção de compostos tóxicos, estranhos aos ambientes naturais, entre outros.

Estão sendo particularmente ameaçadas grandes áreas contínuas de terra necessárias para a sobrevivência de algumas espécies.

O uso racional e eficiente dos recursos naturais se apresenta como uma necessidade premente para a reversão deste quadro negativo.

BURACO DA CAMADA DE OZÔNIO

“A história de um dos maiores problemas ambientais da atualidade a nível global, a destruição da camada de ozônio (...), teve início em 1930, quando o químico Thomas Midgley Jr., dos Laboratórios de Pesquisa da General Motors, nos Estados Unidos, foi solicitado a desenvolver novo composto de refrigeração que não fosse tóxico, nem inflamável, e apresentasse estabilidade química. (...) O resultado do trabalho levou à produção, já a partir de 1931, de um produto conhecido atualmente como

CFC-12 (diclorodifluormetano), e a partir de 1934 teve início a produção de CFC-11 (triclorofluormetano). Nos anos seguintes, os CFCs provaram ser os compostos ideais para muitas aplicações, e não seria exagero afirmar que muito do moderno estilo de vida do século XX só foi possível devido à utilização, em larga escala, desses produtos. Em 1974 foi publicado o primeiro artigo alertando que os CFCs presentes na atmosfera poderiam destruir a camada protetora de ozônio.” (Tanimoto et al., 1999)

Dica!

O texto acima foi retirado de um artigo da revista TECBAHIA, dos meses de maio/ago. 1999, e pode ser lido na íntegra no site da Rede de Tecnologias Limpas da Bahia – TECLIM: <http://www.teclim.ufba.br>

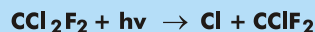
A camada de ozônio é uma camada natural da estratosfera (faixa que se estende entre 15 e 50km de altitude) que funciona como um filtro, impedindo a passagem de raios ultravioleta provenientes do sol. Com a diminuição da concentração de ozônio (O_3) na estratosfera, diminui a absorção destas radiações, aumentando sua incidência sobre os sistemas biológicos a ela sensíveis. Algumas das consequências da destruição da camada de ozônio são: danos ao homem – catarata, câncer de pele, queimaduras, problemas no sistema imunológico e danos à natureza – à vegetação e agricultura, diminuindo a capacidade de fotossíntese e o crescimento das plantas.

Foi observado que a quantidade total de ozônio em algumas regiões polares foi reduzida em mais de 50% ao longo dos últimos 40 anos (Graedel e Allenby, 1995).

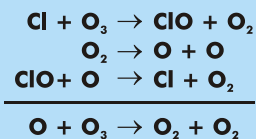
“A primeira ação efetiva visando à eliminação do consumo dos CFCs surgiu em 1978, quando esses produtos foram proibidos como propelentes em latas de *spray* nos Estados Unidos, Canadá, Noruega e Suécia. Nos anos seguintes, desenvolveu-se um forte consenso entre governos e na comunidade científica internacional sobre a necessidade de proteger a camada de ozônio. O primeiro passo para transformar consenso em ação global foi dado em março de 1985, quando foi adotada a convenção de Viena para a proteção da camada de Ozônio.” (Tanimoto et al., 1999)

Entre as substâncias químicas que causam a depreciação da camada de ozônio encontram-se :

- **Clorofluorcarbonos (CFCs).** Estes compostos de cloro, flúor e carbono são os principais responsáveis pela destruição da camada de ozônio. Emissões superficiais de CFCs podem permanecer na atmosfera por décadas, podendo ser transportados para a estratosfera por processos atmosféricos. Exemplo: uma molécula de CFC-12 é quebrada por ação ultravioleta, liberando cloro (Cl):



O mecanismo de destruição da camada de ozônio então seria:



O mesmo mecanismo é válido também para o **Br** (Bromo), o **OH** (óxido de hidrogênio) e **NO** (óxido nítrico), que têm a capacidade de remover o ozônio da estratosfera através de reações catalíticas.

- **Óxido nítrico (NO).** Emissões de NO, oriundas de jatos, diretamente nas camadas superiores da atmosfera também reduzem a concentração de ozônio estratosférico, como demonstrado na reação seguinte:



- **Hidrocarbonetos halogenados.** As substâncias que contêm bromo e que são usadas em extintores de incêndio e como fumigantes são objeto de grande preocupação, pois o bromo tem um efeito maior de degradação do ozônio e também maior tempo de vida do que o cloro.

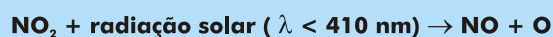
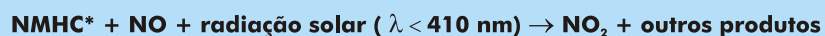
A eliminação do uso de algumas dessas substâncias e sua substituição por outras, menos agressivas, são os principais meios para se enfrentar este problema.

NÉVOAS FOTOQUÍMICAS (SMOG)

O *smog* é um termo que combina as palavras inglesas *smoke* e *fog*. No Brasil usamos, analogamente, o termo Fublina, que é uma junção das palavras “fumaça” e “neblina”. A Fublina é causada por uma reação fotoquímica entre os poluentes, a qual é deflagrada pela luz do sol sobre ar estagnado, podendo causar danos à saúde humana e aos cultivos de terra e reduzir a visibilidade.

O ozônio (O₃) é o principal componente do denominado *smog* fotoquímico, produzido próximo à superfície da Terra e nas camadas atmosféricas mais baixas.

A Fublina é produzida a partir das seguintes reações químicas:



*NMHC denota hidrocarbonetos, como, por exemplo, etileno, butano (exceto metano).

A formação de ozônio nas camadas superficiais da Terra pode ser controlada através da limitação das emissões de NMHC e dos óxidos de nitrogênio (NO_x) (principalmente NO e NO₂). Essas emissões provêm das múltiplas aplicações de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural e xisto) na geração de energia, uso de automóveis e outros meios de transporte, na indústria e no setor doméstico. A minimização das emissões de hidrocarbonetos na fonte, além de prevenir este problema, traz benefícios à saúde das pessoas em contato com essas emissões, e representa economia de matérias-primas. Já as emissões dos NO_x tendem a ser reduzidas a partir de modificações nos processos de combustão.

DEGRADAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE HABITABILIDADE URBANA

O desordenado crescimento das cidades, devido tanto a problemas estruturais da sociedade como à baixa qualidade de muitas administrações municipais, tem provocado diversos problemas que concorrem para a degradação da qualidade de vida e saúde da população.

Uma parcela importante da população urbana dos países subdesenvolvidos, por ficar excluída do mercado imobiliário, se vê obrigada a equacionar sua necessidade de moradia a partir de ocupações ilegais, desordenadas e que permanecem desprovidas de uma infra-estrutura adequada. Apesar dos serviços de abastecimento d'água e energia atingirem quase a totalidade dos moradores das grandes cidades, estes deixam muito a desejar em termos de qualidade. Já o esgotamento sanitário não alcança uma grande parcela da população urbana pobre, obrigando-a a conviver em contato com diversos agentes causadores de doenças. Os freqüentes episódios de enchentes são o resultado de desequilíbrios ambientais provocados pelo adensamento e a conseqüente impermeabilização descontrolada do solo urbano.

Canais de esgotos a céu aberto, no lugar dos rios, depósitos de lixo espalhados por todo lado, provocando a proliferação de vetores causadores de variadas doenças, e índices inaceitáveis de qualidade do ar, trazendo doenças que afetam o aparelho respiratório são aspectos corriqueiros da vida das nossas cidades.

Além de devolver ao meio ambiente a água na forma de esgotos, mais da metade da água extraída dos mananciais sequer nos traz qualquer benefício. Ela se perde ao longo do seu transporte ou é desperdiçada nos domicílios. Isto é, exerce-se uma pressão enorme sobre o meio ambiente e sequer tiramos o devido proveito. Enquanto uma parcela importante da população passa fome, outra desperdiça alimentos sem o menor cuidado.

Dessa forma, não dá para acreditar que a solução para os problemas anteriormente listados seja apenas tratar adequadamente os esgotos, dispor o lixo em aterros sanitários ou aproveitar restos de comida para gerar compostos orgânicos. É necessário encontrar respostas mais eficientes para aumentar a produtividade dos recursos naturais. A busca por níveis mais altos de ecoeficiência é uma necessidade ambiental premente, mas, além disso, é um pré-requisito para a construção de economias competitivas e cidades sustentáveis.

INSERÇÃO DE SUBSTÂNCIAS TÓXICAS PERSISTENTES NA CADEIA ALIMENTAR

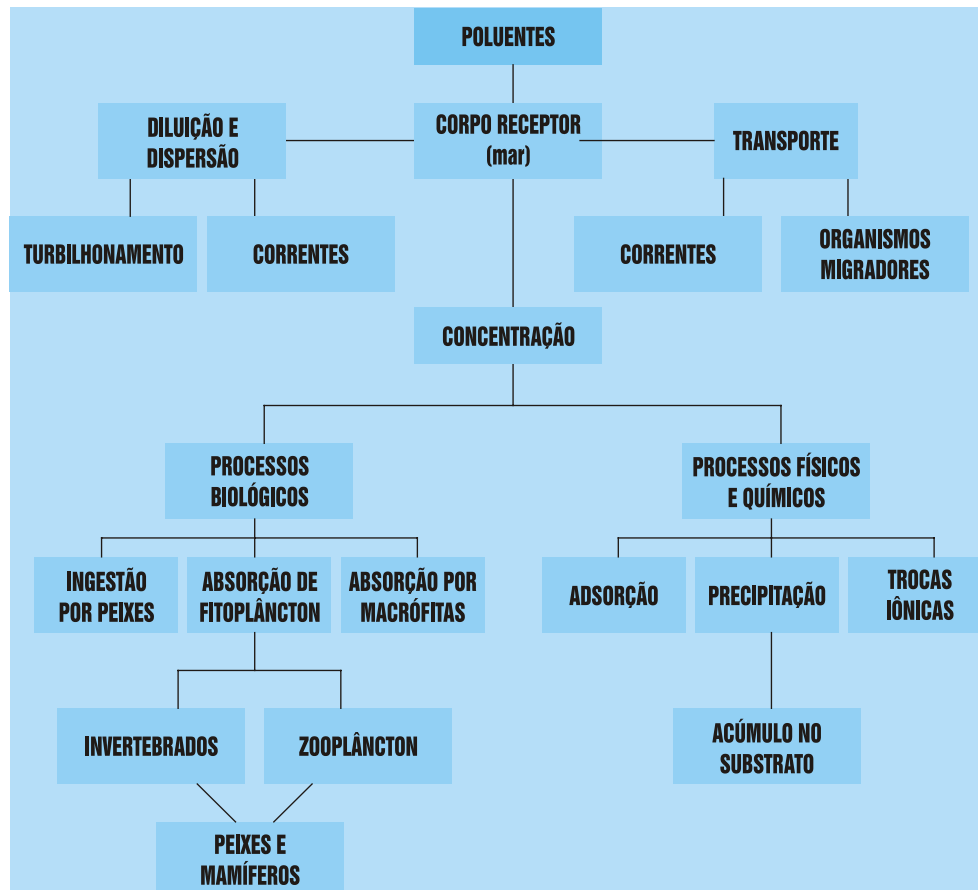
A inserção de substâncias tóxicas na cadeia alimentar representa ameaça de desequilíbrio a todo o ecossistema. A origem dos contaminantes pode ser: lixiviados de solos agrícolas, água subterrânea contaminada, água de sedimentos contaminados, córregos urbanos, descargas atmosféricas, deposição de sedimentos, indústria, esgoto doméstico, depósitos de lixo.

O caminho que as substâncias químicas percorrem no ambiente aquático pode ser descrito da seguinte forma: dissolução das substâncias na água; adsorção em partículas orgânicas ou inorgânicas; incorporação pelos organismos gerando biotransformação (metabolismo); bioacumulação e biomagnificação.

A biotransformação é o processo através do qual as substâncias são metabolicamente tornadas mais solúveis em água e, portanto, mais facilmente eliminadas; é a conversão biologicamente catalisada de uma substância química em outra. Este novo composto se comporta diferentemente no organismo, com respeito à distribuição nos tecidos, bioacumulação, persistência e rota de excreção, além de suas propriedades farmacológicas e toxicológicas.

A bioacumulação ou bioconcentração ocorre quando a taxa de assimilação de uma substância química pelo organismo excede sua taxa de eliminação, criando um “reservatório” dentro do organismo. À medida que um organismo de um nível trófico superior se alimenta das espécies que sofreram processos de bioacumulação, a concentração fica ainda maior, ocorrendo dessa forma o processo de biomagnificação.

Vamos tentar esquematizar o caminho do poluente em um corpo receptor:



Fonte: NASCIMENTO, Iracema A. **Inserção de substâncias tóxicas na cadeia alimentar:** as substâncias tóxicas persistentes, Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria. UFBA. Módulo: Comportamento de Poluentes no Segmento Biótico.

FIGURA 2.1 – CAMINHO DO POLUENTE NO CORPO RECEPTOR

O mercúrio, por exemplo, provoca um dos mais graves problemas de contaminação do homem e do meio ambiente, pois através da terra ou da água entra na cadeia alimentar, colocando em perigo o homem, que se alimenta dos peixes e das aves de áreas contaminadas. A ação tóxica do mercúrio afeta o sistema nervoso central, órgãos do sistema cardiovascular, urogenital e endócrino. Dentre os principais sintomas de

intoxicação estão a paralisia, a dormência dos lábios, mãos e pés, distúrbios emocionais, fadiga, perda de memória, cefaléia, gengivite e estomatite. Em casos de intoxicação severa, os danos são irreversíveis. (Nascimento, 2000)

Aos alunos:

Vocês já ouviram falar no caso da contaminação por mercúrio da Baía de Minamata? Vamos pesquisar e fazer um resumo do que foi Minamata e quais foram as soluções encontradas.

OUTROS PROBLEMAS AMBIENTAIS

A lista de impactos ambientais, preocupações e discussões apresentada nesta seção não foi exaustiva, mas incluiu o que é frequentemente percebido e considerado como mais significativo.

Vamos citar, de modo geral, outros impactos que podem ser considerados de menor peso:

- **Radiação e radionuclídeos.** Muitas fontes de radiação existem naturalmente, mas a atividade humana pode aumentar o grau de exposição dos sistemas biológicos através do estabelecimento de novos níveis de radiação, resultando em problemas à saúde. Radônio do solo e de materiais de construção podem, por exemplo, expor as pessoas à radioatividade em suas casas, onde o radônio tende a se acumular no ar.
- **Poluição térmica.** A poluição térmica é causada pelo lançamento de águas de resfriamento das usinas e outras instalações industriais em corpos de água, onde ele se concentra, causando elevações súbitas da temperatura local e reduzindo a concentração de oxigênio dissolvido no meio, tendo como causa a mortandade das espécies.
- **Qualidade do ar interior.** A qualidade do ar interior é frequentemente uma preocupação, especialmente para edifícios que têm baixo nível de reciclo de ar, porque a má qualidade do ar pode conduzir a problemas de saúde. Também alguns materiais de construção, como o amianto, podem causar danos à saúde humana.

- **Poluição sonora.** Um som desagradável é chamado de RUÍDO. Os danos causados pelo ruído dependem da intensidade, frequência, tempo de exposição, intermitência ou continuidade, e das características de cada indivíduo. A intensidade do ruído é medido em decibel (dB), unidade de pressão sonora.

As principais consequências da poluição sonora são: perda gradativa da audição; incômodo; irritação; exaustão física; perturbação do sono; insônia; fadiga; problemas cardiovasculares; estresse; aumento da adrenalina no sangue; aumento da produção de hormônio da tireóide; redução da eficiência e ocorrência de acidentes nos locais de trabalho. (Mota, 1997)

Controles na emissão de ruídos de maior abrangência e efetividade são aqueles aplicados na fonte, tais como:

- aperfeiçoamento dos equipamentos, de forma a reduzir o barulho produzido por estes;
- manutenção dos equipamentos: lubrificação, alinhamento de rolamentos e eixos, suportes antivibratórios;
- isolamento das fontes de ruídos (exemplo: paredes com materiais que impeçam a propagação do som – isolante acústico);
- regulação das descargas dos veículos;
- disciplinamento dos horários de funcionamento de equipamentos barulhentos.

Entre as medidas de controle nos receptores podemos citar:

- isolamento de ambientes internos;
- redução do período de exposição ao ruído;
- diminuição da jornada de trabalho;
- uso de equipamentos de proteção auricular.

- **Assuntos relacionados à Higiene Industrial e à Segurança e Saúde no Trabalho.** Estes também são importantes aspectos ambientais que devem ser levados em consideração. Eles podem incluir ar contaminado em ambientes de trabalho e a exposição a material de isolamento de amianto.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Conforme discutido no início deste módulo, após listarmos uma série de problemas ambientais contemporâneos, vamos tentar organizá-los de forma a melhor entendê-los. Para tanto vamos separá-los em categorias, com base em suas diferentes características.

Consideremos as seguintes categorias para orientar nossa discussão:

- **Espaço**
- **Tempo**
- **Risco**

Essas classificações freqüentemente fornecem uma lista de prioridades, baseada em sua “importância”, já que os impactos ambientais que têm maior extensão e maior duração, e que apresentam riscos para os sistemas planetários e humanos, são normalmente vistos como mais importantes do que outros. Outras classificações, baseadas no nível de importância do impacto ambiental, podem ser desenvolvidas.

As determinações de quais impactos ambientais são significantes, e quais as suas características definidoras, podem incluir certa dose de subjetividade, tornando difícil o desenvolvimento de uma classificação simples dos impactos ambientais, segundo seu grau de importância.

É comum, na literatura internacional gerada nos países desenvolvidos, se deixar de lado o impacto ambiental e social do lançamento indiscriminado de esgotos sanitários e seu contato direto com a população em áreas socialmente degradadas.

No entanto, nossa realidade é diferente e exige um foco maior neste problema, no momento em que se discute, de forma abrangente, os problemas ambientais. Neste

curso, porém, por priorizar os problemas ambientais dos processos de produção, a questão da habitabilidade e dos esgotos domiciliares, apesar de ser lembrada, não será aprofundada.

CLASSIFICAÇÃO ESPACIAL DOS IMPACTOS

Uma forma de classificar os impactos ambientais é por sua extensão espacial, ou geográfica. Alguns autores entendem que os impactos ambientais que se estendem por grandes áreas, ou por todo o planeta, são geralmente de maior importância do que os que são limitados a regiões menores. Efeitos ambientais locais, no entanto, são de grande importância para a região sob impacto.

Uma classificação aproximada por extensão espacial é apresentada na Tabela 2.1, usando as seguintes categorias:

- **Global**
- **Regional**
- **Local**

TABELA 2.1 – CLASSIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EM UMA ESCALA ESPACIAL

Global	Regional	Local
Mudança climática	Deposições ácidas	Degradação do lençol freático
Buraco da camada de ozônio	Uso de herbicidas	Disposição inadequada do lixo
Redução de habitat e biodiversidade	Uso de pesticidas	Derramamento de óleo
Degradação da qualidade das águas subterrâneas	Degradação do solo	Névoas fotoquímicas (<i>smog</i>)
Degradação da qualidade das águas superficiais	Inserção de substâncias tóxicas na cadeia alimentar*	Degradação das condições de habitabilidade urbana
Inserção de substâncias tóxicas na cadeia alimentar	Radionuclídeos	Poluição térmica

*Um mesmo impacto pode ser classificado em mais de um nível como, por exemplo, a inserção de substâncias tóxicas na cadeia alimentar, que pode tanto ter uma abrangência global quanto regional.

Dê a sua opinião!

Você concorda com a forma como foram classificados os problemas na Tabela 2.1? Que mudanças você sugeriria?

Alguns autores consideram que o impacto ambiental local deve ter um peso maior do que o global, porque acreditam que a indústria, o comércio, etc. só se mobilizam para resolver os danos mais imediatos, que os atingem diretamente, e que não há interesse em investir em um Sistema de Gestão Ambiental se não for dessa forma. E você, o que pensa sobre isso? Pense, por exemplo, na questão da habitabilidade urbana, que tem uma expressão local, mas se reproduz pelo mundo afora, assim como outros problemas classificados como locais! Não conviria repensar esta forma de classificar os impactos ambientais?

CLASSIFICAÇÃO TEMPORAL DOS IMPACTOS

Impactos ambientais podem ser classificados com base em sua extensão temporal, como, por exemplo, pelo tempo que o impacto e seus efeitos persistem no ambiente. A duração pode variar de dias a anos, ou até mesmo séculos.

Efeitos que duram apenas um curto período de tempo podem se comportar desta forma, por serem eliminados através de processos naturais, ou porque ações podem ser tomadas para reduzir o tempo de duração do impacto. São os impactos reversíveis.

Uma classificação temporal é importante, pois impactos ambientais que persistem durante longo tempo são geralmente de maior importância do que os que possuem duração limitada.

Classificação dos impactos ambientais, discussões e questões levantadas em escala temporal interagem com as classificações espaciais. Poluentes que são resistentes a longo prazo podem atingir áreas maiores. Claro que isso depende do meio onde eles são lançados.

A classificação espacial de impactos ambientais da Tabela 2.1 pode, conseqüentemente, servir de base para uma classificação espaço-temporal, em que as categorias global,

regional e local correspondem a escalas de longo, médio e curto prazo. Contudo, alguns erros podem estar sendo introduzidos ao se praticar esta simplificação. Considere, por exemplo, a questão da disposição de compostos tóxicos em locais confinados e com pouca possibilidade de se movimentar.

O famoso caso de Love Canal que descrevemos a seguir ilustra esta questão e propõe uma interessante discussão sobre a disposição de resíduos tóxicos em aterros industriais.

CLASSIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS PELO TIPO DE RISCO

Impactos ambientais podem ser classificados pelo tipo de risco que eles apresentam. Classificações baseadas em riscos são freqüentemente muito subjetivas, já que riscos sociais são usualmente percebidos como de diferentes importâncias, por diferentes pessoas, e a percepção de risco é afetada por muitos fatores.

No entanto, muitas categorias de riscos ambientais podem ser consideradas, inclusive as que se seguem:

LOVE CANAL

Love Canal está localizado na vizinhança das Cataratas do Niágara, no estado de Nova York. O nome "Love Canal" provém do último nome de William Love, que em 1896 começou a obra de escavação de um canal com o propósito de interligar os lagos Ontário e Erie. A obra, porém, nunca foi concluída.

Em 1942 a companhia Química Hooker, que se localizava no lado oeste do canal, teve a idéia "engenhosa" de transformar o canal em um depósito para os resíduos químicos de seu processo produtivo, até completá-lo. Uma vez que o canal/aterro estava completamente cheio com os resíduos da indústria, no ano de 1952, este foi coberto com grama, sem dar indícios do problema enterrado, e vendido para a escola da cidade de Niagara Falls pelo valor de US\$ 1.00 (um dólar). A escola e algumas casas foram construídas exatamente em cima do lixo químico.

Em 1977 foi detectada a extravasão de componentes químicos, e uma série de problemas de saúde foi identificada. Dentre o lixo químico podiam ser encontrados: benzeno, um produto químico conhecido por causar anemia e leucemia; clorofórmio, um cancerígeno que afeta o sistema nervoso, respiratório e gastrointestinal; lindano, que causa convulsões e a multiplicação de células brancas; tricloretileno, um cancerígeno que ataca o sistema nervoso, o fígado e o rim; cloro de metileno, cujos efeitos incluem aflição respiratória crônica e morte (Mokhiber, 1988).

Centenas de moradores processaram a Hooker, a cidade e o governo estadual, exigindo mais de US\$ 9 milhões para compensar os danos sofridos no canal. A área foi evacuada e permanece deserta e degradada até hoje. Quem passa por lá tem a dimensão de quais danos os resíduos químicos podem trazer à nossa moderna sociedade.

- Riscos de danos para sistemas planetários. Isso inclui riscos para entidades biológicas e seus sistemas de suporte (por exemplo, cadeias alimentares), e padrões e composições de circulação atmosférica e oceânica.
- Riscos de danos para sistemas biológicos (incluindo sistemas humanos, animais e vegetais). Estes riscos incluem danos causados por toxinas e outros resíduos tóxicos.
- Riscos de perdas financeiras. Estes riscos incluem perdas financeiras diretas e seus efeitos indiretos, como redução de produtividade.
- Riscos da qualidade de vida e estéticos. Estes riscos incluem a perda de satisfação associada com um ambiente limpo e agradável.

Questão para reflexão:

- Classifique e estabeleça a magnitude dos problemas ambientais aqui discutidos usando a matriz a seguir. Insira dois outros problemas e justifique suas escolhas.

MATRIZ PARA CLASSIFICAÇÃO DA MAGNITUDE DO IMPACTO DE PROBLEMAS AMBIENTAIS								
Problema	Abrangência Espacial			Abrangência Temporal		Risco		
	Global	Regional	Local	Reversível	Irreversível	Alto	Médio	Baixo
Deposições ácidas	++	+++		+++	+		+++	
Mudança do clima e das condições meteorológicas								
*Degradação da qualidade das águas subterrâneas								
Degradação de águas superficiais								
Reduções de habitat e biodiversidade								
Buraco da camada de ozônio								
Degradação do solo rural								
Névoas fotoquímicas (<i>smog</i>)								
Degradação das condições de habitabilidade nas cidades: solo, ar e águas								
Inserção de substâncias tóxicas na cadeia alimentar: as substâncias tóxicas								

Para classificar, utilize a seguinte simbologia:

+ **Peso baixo** ++ **Peso médio** +++ **Peso alto** * depende dos contaminantes considerados.

FECHAMENTO

A idéia é que neste capítulo você tenha podido ter uma visão geral do que é importante ser considerado quando se fala em impactos ambientais e suas conseqüências. Também é interessante chamar a atenção de que muitos aspectos são difíceis de medir e que, portanto, são avaliados através de uma estimativa.

Analisar e entender quais são as conseqüências das nossas ações sobre o ambiente em que vivemos tem como objetivo final pensar em propostas de desenvolvimento menos agressivas ao meio ambiente. Ao invés de corrigirmos o problema, pode ser mais viável, inclusive economicamente, evitar a poluição.

É bom lembrar: a poluição é um indicador de ineficiência no uso dos recursos naturais e financeiros.

CAPÍTULO 3

MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS

Asher Kiperstok

Universidade Federal da Bahia • UFBA • TECLIM

**“O que farão com as velhas roupas?
Faremos lençóis com elas.
O que farão com os velhos lençóis?
Faremos fronhas.
O que farão com as velhas fronhas?
Faremos tapetes com elas.
O que farão com os velhos tapetes?
Usá-los-emos como toalhas de pés.
O que farão com as velhas toalhas de pés?
Usá-las-emos como panos de chão.
O que farão com os velhos panos de chão?
Sua alteza, nós os cortaremos em pedaços,
misturá-los-emos com o barro e usaremos
esta massa para rebocar as paredes das casas.
Devemos usar com cuidado e proveitosamente,
todo o artigo que a nós foi confiado,
pois não é “nosso” e nos foi confiado apenas
temporariamente. ”**

Siddhartha Gautama – BUDA

Neste capítulo vamos discutir sobre “Resíduos”, mais especificamente sobre a sua “Minimização” e, se possível, sobre o banimento deles das nossas vidas.

Vale salientar que minimizar resíduos significa:

- aumentar a eficiência ecológica da empresa – transformando toda a matéria-prima em produto;
- beneficiar-se das vantagens comerciais – aumentando a competitividade;
- minimizar custos de retrabalho;
- reduzir o impacto ambiental do processo produtivo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discutir os tipos de resíduos industriais: gasosos, líquidos e sólidos nos processos;
- Identificar as causas e fontes geradoras de resíduos;
- Caracterizar os diferentes tipos de resíduos quanto ao grau de toxicidade;
- Apresentar técnicas / medidas de minimização de resíduos nos processos;
- Discutir o Organograma Mestre das Ações para Prevenção e Controle da Poluição;
- Detalhar medidas de P2 e exemplificar;
- Permitir a percepção da diferença entre os enfoques Fim-de-tubo e P2.

Deu para sentir a importância de torná-los insignificantes e até mesmo inexistentes? Afinal, o que não é útil não justifica a existência. Concorda?

Resíduos são matérias-primas (na maioria das vezes adquiridas a alto preço) que não foram transformadas em produtos comercializáveis ou em matérias-primas a serem usadas como insumos em outro processo de produção. Eles incluem todos os materiais sólidos, líquidos e gasosos que são emitidos no ar, na água ou no solo, bem como o ruído e a emissão de calor.

O processo de produção também compreende atividades que, freqüentemente, se tende a esquecer, tais como manutenção, serviços, limpeza e a área administrativa.

Minimizar resíduos e emissões, portanto, também significa aumentar o grau de utilização dos materiais e da energia usados para a produção (aumentando a eficiência ecológica) até que sua utilização garanta um procedimento livre de resíduos e emissões (este é o caso ideal!).

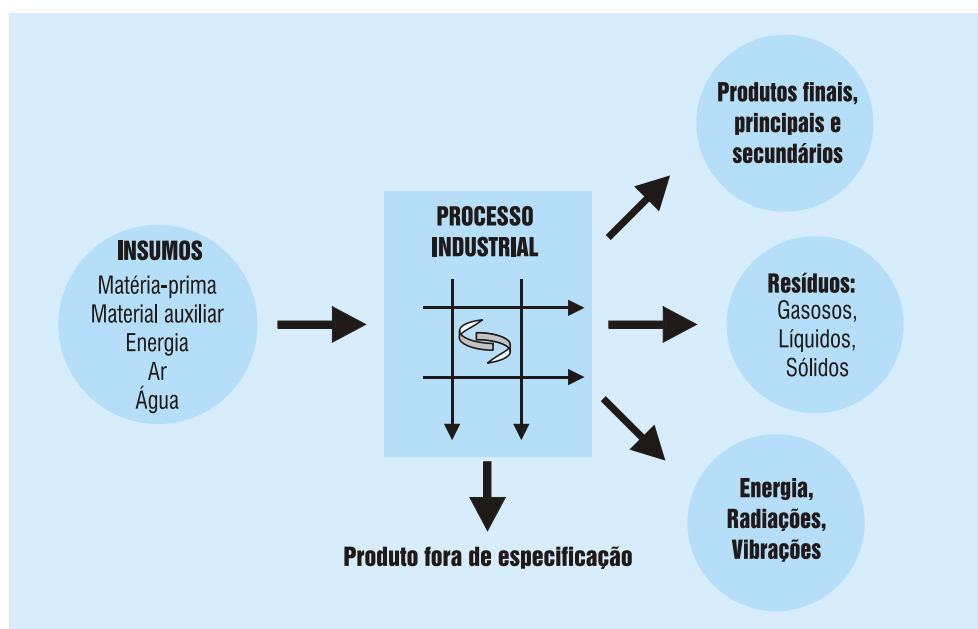
Assim, para a empresa, a minimização de resíduos não é somente uma meta ambiental, mas, principalmente, um programa orientado para aumentar o grau de utilização dos materiais e, conseqüentemente, sua produtividade.

Esta situação pode ser também ilustrada pelo fato de que, tanto o tratamento e a disposição de resíduos e emissões são onerosos, quanto os custos decorrentes da perda de matérias-primas (que se tornam resíduos no próprio sentido da palavra) também são normalmente altos.

A fim de trabalhar sistematicamente na minimização e evitar a geração de resíduos e emissões, você deve conhecer os fluxos de massa mais importantes em sua empresa, identificar e quantificar os resíduos gerados nas etapas do fluxo. Além disso, você deve, principalmente, conhecer as características e a importância em termos de toxicidade e efeitos ecológicos dos resíduos. Dessa forma, neste capítulo você vai obter informações sobre os vários tipos de técnicas e medidas aplicáveis em programas de Prevenção da Poluição, visando minimizar resíduos.

3.1 OS PROCESSOS INDUSTRIAIS E SEUS RESÍDUOS

Os processos industriais transformam insumos em produtos finais e resíduos, conforme representado de forma simplificada na Figura 3.1. Contudo, enquanto os insumos e produtos são considerados nas suas devidas especificidades, os resíduos são tradicionalmente agrupados de acordo com os corpos receptores: água, ar e solo. Usa-se a lógica, um tanto perversa, de que os resíduos são parte inerente ao processo e que, conseqüentemente, só nos resta pensar em como e onde dispô-los.



Fonte: Construção própria

FIGURA 3.1 – PROCESSO INDUSTRIAL

Consideremos o exemplo de uma refinaria. Um complexo arranjo de processos transforma o óleo cru em combustíveis, insumos petroquímicos, lubrificantes e asfalto. Parte do óleo é consumido como fonte energética para o processo de refino.

Um dos problemas que mais preocupa os operadores e autoridades ambientais é o dos efluentes líquidos. Estes são considerados inerentes e indesejáveis a cada uma das etapas do processo. Portanto, são afastados e concentrados num ponto único (às

vezes dois), para se dar a eles um tratamento que os torne menos impactantes ao corpo receptor. A questão ambiental passa a ser considerada neste momento. O que fazer com esta água contaminada? Como destruir os compostos indesejáveis para poder descartá-la cumprindo a legislação, ou, pelo menos, tentando cumpri-la.

Raciocínio semelhante é praticado com as emissões oriundas da queima de combustíveis nas caldeiras. Estas são vistas como inerentes a estes equipamentos e ao tipo de combustível utilizado.

Mas, na realidade, tanto os efluentes líquidos quanto as emissões atmosféricas (o mesmo se aplica para outros resíduos) têm sua origem num determinado ponto do processo. Suas causas podem ser várias e relacionadas a outros pontos que não apenas aqueles onde eles são visualizados. O vapor inserido numa coluna de destilação, por exemplo, sai no seu topo, é condensado e se transforma num efluente que é lançado numa canaleta.

Esta situação, no entanto, poderia ser diferente. Uma otimização do processo, por exemplo, reduziria a quantidade utilizada e outras medidas poderiam reduzir o conteúdo de hidrocarbonetos, que são nada menos que o produto principal da refinaria. Por outro lado, será que esta corrente não tem utilidade para outro processo? Se ela é tachada de “efluente”, provavelmente não. Mas, se ela for vista como um possível insumo, a questão será outra. Que processo ou processos precisam dela? O que tem que ser feito para que ela possa ser considerada insumo para outros processos?

O pensamento corriqueiro tem sido tratar dos resíduos a partir da sua segregação como matéria indesejável. Com base neste raciocínio, só resta sua coleta, tratamento e disposição no ambiente. É a lógica da rede de coleta de resíduos, também chamada de FIM-DE-TUBO.

No caso das emissões geradas pelos processos de combustão, a sua minimização não depende apenas da eficiência das caldeiras e fornalhas, ou do combustível utilizado. A eficiência energética da planta toda é que tem que ser analisada. Nesse caso, a “rede de efluentes” é menos perceptível, pois se trata de uma rede invisível de incompetências ou perdas energéticas que inclui, desde a eficiência energética de cada processo e equipamento, até a qualidade da integração energética de toda a planta.

Consideremos, a seguir, algumas das principais fontes de emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos geradas nos processos industriais.

RESÍDUOS GASOSOS

Emissões de resíduos gasosos são freqüentemente maiores em quantidade do que emissões de resíduos sólidos e líquidos, no ar e nas águas. As fontes principais de resíduos gasosos são:

- lançamento de vapores e gases da queima de combustíveis fósseis, seja de fontes fixas ou móveis;
- perdas de produtos voláteis em tanques de armazenamento, pontos de carga e descarga, pontos de alívio de pressão, vazamentos de equipamentos e outras denominadas emissões fugitivas;
- perda de solventes de tintas e processos de limpeza de superfícies e equipamentos;
- perdas de gases refrigerantes;
- uso de gases propelentes de produtos aplicados na forma de aerossóis.

Diversos compostos são emitidos das fontes citadas. A seguir revisaremos alguns deles:

- Gás carbônico – Esta emissão ocorre principalmente devido a processos de transformação de energia. É um produto da queima de combustíveis fósseis. Não obstante, emissões de CO₂ podem ser reduzidas, aumentando-se a qualidade dos sistemas de combustão intensiva, aumentando-se a eficiência de equipamentos, processos e sistemas, usando formas de energia não baseadas no carbono (isto será discutido mais extensivamente no Capítulo 7).
- Metano – As fontes de emissão de metano incluem vazamentos de gás natural (já que o metano é seu componente principal) e redução anaeróbia, que ocorre naturalmente, e também devido à atividade humana (por exemplo, agricultura, carvão, minas e refinamento de petróleo).

- Óxidos de nitrogênio – Incluindo dióxido de nitrogênio (NO_2) e óxido de nitrogênio (NO), a combinação que normalmente é chamada de NO_x é gerada durante uma combustão de alta temperatura no ar, e de alguns outros processos. Estas emissões podem ser reduzidas a partir de um controle mais cuidadoso do processo de combustão e utilizando-se queimadores especiais.
- Dióxido de enxofre (SO_2) – Suas fontes incluem combustíveis fósseis, fabricação de substâncias que contenha enxofre, metalurgia de cobre e processos de papel e celulose. A presença de compostos de enxofre no petróleo torna necessária sua remoção nos processos de refino. Isso é feito em diversos estágios, tanto em fase líquida como gasosa. O uso de petróleos de baixo teor de enxofre simplifica e até elimina a necessidade destes processos de remoção. As emissões de SO_2 podem também ser reduzidas com medidas fim-de-tubo, como lavadores de SO_2 . As medidas preventivas indicadas para reduzir emissões de CO_2 também se aplicam aqui.
- Compostos orgânicos voláteis (VOCs) – Fontes de VOCs incluem uma série de processos industriais. O lançamento de VOCs no meio ambiente pode ser reduzido projetando-se mecanismos para sua reutilização, minimizando seus usos e as emissões dos processos, e através de sua substituição por outras substâncias que sejam o menos prejudicial possível. Uma das principais fontes de VOCs em plantas químicas e petroquímicas é o próprio sistema de afastamento e tratamento de efluentes líquidos. Compostos orgânicos voláteis, presentes em altas concentrações nesses efluentes, se desprendem para a atmosfera, gerando problemas de salubridade para o pessoal da fábrica e vizinhanças.
- Clorofluorcarbonos (CFC) e Hidroclorofluorcarbonos (HCFC) – Estas substâncias são usadas em refrigeração e ar condicionado, limpadores de metais e, às vezes, como agentes propulsores e espumantes. O uso de CFC e HCFC foi bastante restringido em muitos países. Sistemas que usam esses materiais estão sendo modificados para usarem materiais alternativos menos agressivos à camada de ozônio. A longo prazo, prevê-se o redesenho completo desses processos.

- Halons – Usados em extintores de incêndio. Emissões de halon contêm bromo, o que pode conduzir à diminuição de ozônio. Esforços para reduzir emissões de halon estão focados na minimização ou eliminação de seus usos, na preferência de materiais alternativos.
- Traços de metais – Por exemplo, alumínio, arsênico, cádmio, cromo, cobre, mercúrio, níquel, chumbo, antimônio, selênio, prata, incluindo metais pesados. Emissões gasosas contendo metais, mesmo que em pequena concentração, são associadas principalmente com as atividades de mineração, indústrias de produção de metais, tintas, pesticidas, eletrônica, cimento, tratamento de superfícies, química, de baterias e couro, entre as principais.
- Compostos odoríficos – Por exemplo: aminas, sulfetos e mercaptanas. As fontes desses resíduos incluem indústrias que usam essas substâncias em processamento de alimentos, tratamento de couro, celulose e papel. Às vezes compostos odoríficos são intencionalmente adicionados a gases tóxicos para permitir a identificação de vazamentos (por exemplo, gás natural), enquanto que em outras situações eles não são desejáveis. Em último caso, seu uso deve ser minimizado ou cuidadosamente controlado através da sua captura e neutralização.

EFLUENTES LÍQUIDOS

Entre as principais fontes de efluentes líquidos na indústria, incluem-se:

- Processos industriais – Alguns processos usam água como diluente, como meio de transferir energia (na forma de vapor) ou para absorver outros compostos. Nesses casos a água entra em contato com correntes de outras matérias-primas e, quando descarregadas, arrastam compostos indesejáveis, tornando-se efluentes residuais.
- Efluentes de processo também utilizados para carregar outras perdas, como, por exemplo, descartes de amostragens, perdas em válvulas, conexões e gaxetas.
- Águas de lavagem e águas de chuva contaminadas de áreas de processo, pátios de carga e descarga, tancagem.

- Drenagem de águas ácidas de minas (normalmente atribuível aos enxofres metálicos presentes em minérios que podem reagir para formar ácido sulfúrico).
- Atividade agrícola envolve grandes quantidades de terra e o escoamento é de difícil controle. Além disso, o processo de irrigação arrasta muitos resíduos de animais, fertilizantes, pesticidas e herbicidas.

Os contaminantes presentes nos efluentes líquidos geram grande preocupação pela facilidade de atingir cursos d'água, sejam superficiais ou subterrâneos, e desta forma atingir a cadeia alimentar, cujo elo final é o próprio homem. A depender das suas características, os impactos podem ser muito variados. Podemos citar alguns dos principais contaminantes:

Compostos Orgânicos Biodegradáveis

Alteram as condições ambientais por consumir o oxigênio dissolvido na água dos corpos receptores. A matéria orgânica é atacada por microorganismos que utilizam o oxigênio da água no processo de digestão, reduzindo sua concentração a níveis que podem afetar a vida de outras espécies. Caso sejam atingidas condições anaeróbias, com concentrações muito baixas de O_2 , a decomposição da matéria orgânica gera problemas adicionais de mau cheiro, provocados, entre outros, pelo desprendimento de compostos reduzidos de enxofre. Entre outras fontes de compostos orgânicos biodegradáveis, podem ser considerados os esgotos sanitários e os efluentes das indústrias de alimentos, bebidas, papel e celulose.

A depender do corpo receptor, a disposição de efluentes com as características acima, pode ser feita apenas se administrando a relação entre a carga orgânica a ser disposta e a capacidade do meio de degradá-la em condições controladas e adequadas. Se o corpo receptor não comporta a carga de um determinado efluente, este pode ser tratado biologicamente. O lodo digerido resultante destes processos pode ser usado como condicionador de solos para uso agrícola.

Um aspecto fundamental para a adequada disposição desses resíduos é estes não estarem contaminados por compostos biorresistentes e tóxicos.

No caso de efluentes sanitários, as medidas de prevenção apontam para a minimização do uso de água, seja a partir da redução do seu consumo nos aparelhos hidrossanitários, seja pelo reuso de águas servidas para alimentar as descargas dos vasos sanitários. Além de reduzir a demanda de recursos hídricos, estas medidas diminuem significativamente os custos de tratamento, reciclagem e disposição final dos efluentes líquidos.

No caso de efluentes de indústrias de alimentos e bebidas, inicialmente convém verificar a origem da matéria orgânica, de forma a se reduzir as perdas de matéria-prima. A indústria de papel e celulose tem otimizado gradativamente o uso de água, em razão do enorme consumo envolvido. O uso de cloro e seus derivados, como agentes oxidantes para o branqueamento da celulose, tem sido motivo permanente de preocupação pela possibilidade da geração de compostos orgânicos clorados. Os processos mais modernos, porém, são totalmente livres de cloro, usando ozônio como oxidante. Isso abre novas oportunidades de reciclo.

Nutrientes

Efluentes ricos em compostos de fósforo e nitrogênio, tais como os produzidos pelo uso excessivo de fertilizantes sintéticos e os provenientes de detergentes, provocam a eutrofização de corpos líquidos. A concentração de nutrientes em resíduos líquidos pode ser reduzida, otimizando-se ou evitando-se seu uso, e recuperando os materiais descarregados.

Ácidos

Provenientes de uma série de processos industriais, estes resíduos líquidos podem ser tratados minimizando seu uso e, às vezes, combinando-os com resíduos básicos. A drenagem ácida na mineração é uma preocupação de alta prioridade, e pode ser contida se for isolada da água e do ar, para então ser tratada.

Sólidos em Suspensão

Podem diminuir a claridade de água, degradar habitats aquáticos e afetar a composição da água, absorvendo substâncias químicas. Medidas como redução da entrada de sólidos inertes nos efluentes industriais e remoção de sólidos de resíduos líquidos industriais (por exemplo, por filtração, sedimentação, precipitação) podem ser utilizadas para evitar os problemas associados à presença de sólidos suspensos na água.

Substâncias Tóxicas Persistentes (PTS)

São elementos ou compostos que pelas suas características se degradam muito lentamente no meio ambiente. Fenômenos físicos e biológicos contribuem para sua dispersão no meio físico e sua concentração no meio biótico. Neste grupo incluem-se os metais pesados e os compostos orgânicos tóxicos.

Nos seres vivos, provocam mutações genéticas (mutagenicidade), câncer (carcinogenicidade) e alterações fetais (teratogenicidade). A presença dessas substâncias no meio ambiente é mais difícil de ser monitorada em razão das baixas concentrações em que podem se apresentar, diferentemente do que ocorre com os chamados poluentes convencionais, anteriormente citados (material biodegradável, por exemplo). No entanto, a presença dos compostos tóxicos persistentes é de extrema relevância, mesmo em concentrações não detectáveis, pela sua persistência e capacidade de se concentrar na cadeia alimentar.

Para esses compostos aplica-se o Princípio da Precaução, popularizado na conferência de Maastrich. Este princípio propõe que seja dado o devido espaço à ignorância científica com relação às substâncias cujo comportamento nos ecossistemas não é, ainda, devidamente compreendido. Nestes casos caberia ao poluidor provar que estes são inócuos antes de serem despejados no meio ambiente.

**“Se vivemos como se importasse e não importa, então não importa.
Se vivemos como se não importasse e importa, então importa.”**
*Conferência Internacional sobre a Agenda da Ciência para o Meio
Ambiente e o Desenvolvimento para o Século 21, Viena, 1991*

Observe na Tabela 3.1 os compostos considerados no programa voluntário de redução de tóxicos dos Estados Unidos (USEPA TRI 33/50).

TABELA 3.1 – COMPOSTOS CONSIDERADOS NO PROGRAMA

Benzeno	Metil etil cetona
Cádmio e compostos	Metil isobutil cetona
Tetracloreto de carbono	Níquel e compostos
Clorofórmio	Tetracloroetileno
Cromo e compostos	Tolueno
Cianeto e compostos	1,1,1-Tricloroetano
Diclorometano	Tricloroetileno
Chumbo e compostos	Xylenos
Mercúrio e compostos	

Fonte: USEPA TRI 33/50.

Metais Pesados

Diferentemente das substâncias tóxicas orgânicas, criadas pelo homem, os metais possuem concentrações de fundo, *background*, na natureza, provenientes da dissolução de rochas e minerais (Schnoor, 1996). As quantidades totais de metais na natureza mantêm-se constantes. Porém, a forma como eles se apresentam muda. Metais originalmente confinados nas suas jazidas naturais são extraídos e inseridos no processo produtivo. Eles acabam sendo colocados à disposição da cadeia alimentar, onde se bioconcentram, acumulam e magnificam, ultrapassando as concentrações naturais e colocando em risco as espécies vivas e o homem. O reconfinamento, após passar pelo processo produtivo, tem sido uma das formas de reduzir o impacto desses elementos.

Os metais formam complexos com outros compostos, modificando sua toxicidade e comportamento no meio ambiente. Geralmente, mas nem sempre, o metal livre é mais tóxico que os complexos que ele forma (Sawyer et al., 1994).

Muitos metais são micronutrientes indispensáveis à vida aquática, mas tornam-se tóxicos quando em concentrações que excedem os níveis necessários à alimentação. É o caso do zinco, cobre, ferro, manganês, cobalto e selênio. Outros metais como mercúrio, chumbo e cádmio não são importantes à manutenção da biota, mas provocam efeitos adversos em concentrações tóxicas (LaGrega, 1994).

É interessante observar que a evolução dos métodos de detecção tem permitido correlacionar efeitos adversos decorrentes da presença de metais em concentrações cada vez menores. Dos anos 60 até o momento, os níveis de detecção de chumbo evoluíram de dezenas de miligramas por litro (10^{-2} g/l), para nanogramas por litro (10^{-9} g/l) isto é, sete ordens de grandeza em 35 anos! Os limites aceitáveis pela legislação atual variam ao redor de 10^{-5} g/l em água salobras (CONAMA 20/86) e $0,3 \times 10^{-3}$ g/l para os efluentes lançados no sistema inorgânico do Complexo Petroquímico de Camaçari-BA (Ceptram 300/90).

Metais são emitidos, por exemplo, de processos de eletrodeposição para proteção de superfícies contra corrosão (cromagem, galvanoplastia), mineração, fundição, fabricação de substâncias químicas, tingimento de couro e produção de baterias. Emissões atmosféricas de traços de metais são, em muitos casos, uma rota importante de contaminação de águas superficiais.

Orgânicos Tóxicos

A nomenclatura da União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) inclui mais de quatro milhões de produtos químicos orgânicos. A cada ano esta lista cresce com aproximadamente mil novos produtos químicos orgânicos sintetizados e produzidos comercialmente. Somente pequena parte desses são tóxicos ou carcinogênicos, sendo que a maior parte deles é destruída no meio ambiente.

Os que, além de tóxicos, são persistentes, representam sérios riscos para os seres vivos, por se bioconcentrarem e biomagnificarem na cadeia alimentar, conforme discutido no capítulo anterior.

As principais atitudes perante esses compostos são: evitar ou minimizar sua manipulação. Podemos ainda destruí-los criteriosamente, reduzir sua toxicidade e persistência ou confiná-los (retirá-los da biota de forma a impedir sua inserção na cadeia alimentar).

RESÍDUOS SÓLIDOS

Existem várias fontes de resíduos sólidos. Algumas delas são discutidas abaixo, ao lado de métodos de como minimizá-los:

- resíduos de processo como, por exemplo, cinzas de combustão, resíduos sólidos extraídos de soluções líquidas;
- resíduos de produto como, por exemplo, excesso de material, produtos fora de especificação;
- resíduos de embalagens como, por exemplo, o empacotamento e a cobertura protetora de materiais que geram uma quantidade muito grande de resíduos;
- resíduos de escritório;
- outros resíduos sólidos misturados.

Os produtos normalmente encontrados como resíduos sólidos são:

- Traços de metais – Algumas das formas principais de assentamento de metais são cinzas de processos de combustão, processos siderúrgicos, metalúrgicos e metal-mecânicos. Escórias e resíduos de catalizadores normalmente apresentam concentrações altas de diversos metais, incluindo alguns preciosos. Peças metálicas de grande porte, incluindo latas de bebidas, são cada vez menos considerados resíduos, devido a seu alto valor e conseqüente aproveitamento como matéria-prima na siderurgia;
- Plásticos;
- Papel;
- Biológicos – Por exemplo, organismos fabricados, vacinas, remédios. Este tipo de resíduo normalmente requer um cuidado especial no seu manuseio.
- Radioativos – Por exemplo, radionuclídeos para equipamento médico e detetores de fumaça. Estes resíduos normalmente requerem cuidado especial na sua disposição. Pode-se evitar ou minimizar seu uso, particularmente quando existem outros materiais não-radioativos que os substituem.
- Borras – Pode-se tratar este resíduo minimizando sua quantidade ou encontrando um outro uso para ele (mesmo que para isso seja necessário um tratamento adicional).

- Resíduos heterogêneos – Como é muito mais difícil a reciclagem ou reuso de resíduos heterogêneos do que dos homogêneos, sua mistura deve ser evitada. Resíduos heterogêneos são particularmente problemáticos quando um deles é tóxico, pois desta forma todo fluxo tem que ser tratado cuidadosamente.

3.2 COMO ABORDAR O PROBLEMA DOS RESÍDUOS, EMISSÕES E EFLUENTES NA INDÚSTRIA

Você já deve ter notado que para revisar os tipos de resíduos gerados na indústria optamos por classificá-los pela forma como eles são produzidos e o corpo receptor onde serão lançados. Esta é a forma tradicional de abordar o assunto. É parte da visão fim-de-tubo que discutimos no primeiro capítulo deste módulo. Provavelmente, se seguirmos esta lógica, no passo seguinte nos veríamos procurando tecnologias para abater, destruir, tratar ou dar uma destinação adequada a esses resíduos. Isto é, estaríamos, desde já, assumindo que os resíduos são inevitáveis, inerentes aos processos produtivos. Nessa altura da discussão estaríamos identificando novos apetrechos para colocar no nosso amigo retirante citado no Capítulo 1.

Vamos inverter o enfoque e questionar: Por que geramos esses resíduos? Onde erramos? O que fizemos para transformar matéria-prima em produto sem valor ou com valor negativo porque, além do mais, ainda vai provocar um efeito nefasto nas nossas vidas?

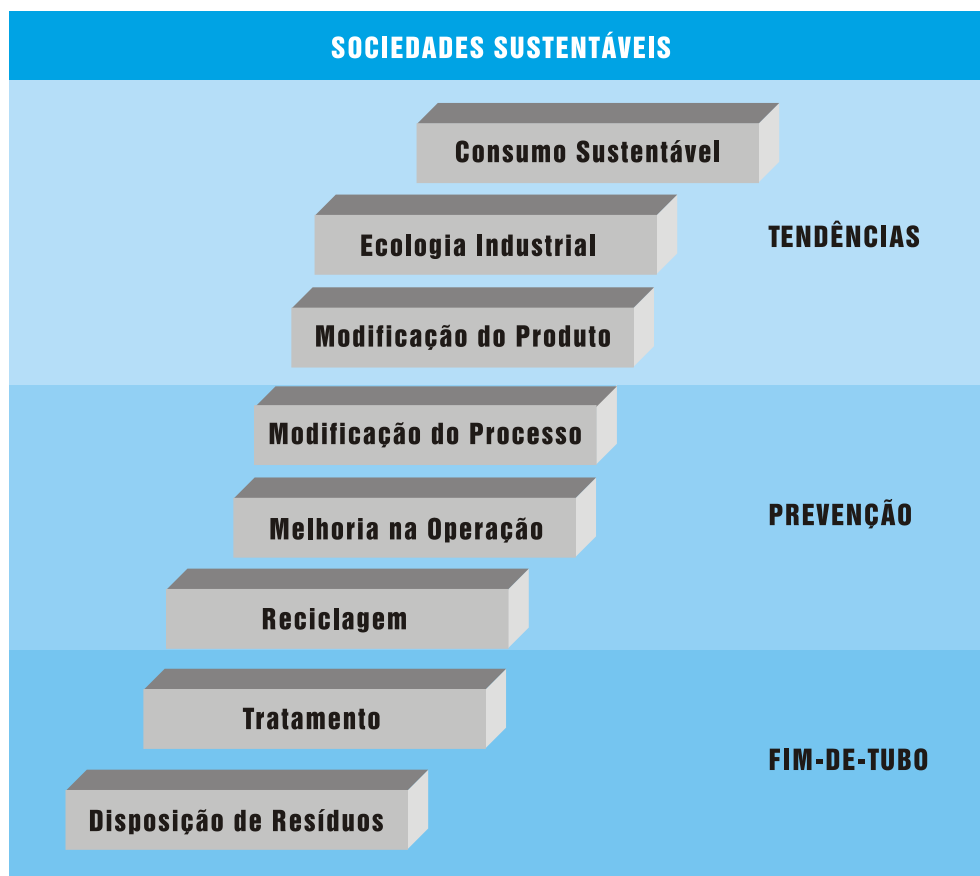
A Figura 3.2 mostra que o problema pode ser enfocado de várias maneiras, sugerindo uma evolução destas, de forma a se procurar maior ecoeficiência. Na medida em que se sobe a escada, aumenta-se a racionalidade e a produtividade no uso dos recursos naturais, aliando-se ganhos ambientais e econômicos.

Nos degraus mais baixos da escada encontram-se as denominadas medidas fim-de-tubo (end of pipe). Neles assume-se que os resíduos são inevitáveis e procura-se apenas reduzir o impacto do seu lançamento no meio ambiente. Para isso gasta-se energia e outros insumos.

Nos degraus intermediários estão representadas medidas que procuram modificar o próprio processo produtivo dentro de uma fábrica ou cadeia produtiva. Procura-se aqui identificar perdas e ineficiências que acabam se transformando em impactos ambientais, de forma a corrigi-las na fonte. Isto é, corrigir o próprio processo que as originou, para lhe agregar valor. Esse tipo de enfoque visa prevenir a geração de resíduos aproveitando melhor as matérias-primas e a energia. Além de reduzir o impacto nos pontos de lançamento, reduz-se o impacto causado na extração das matérias-primas. Se o nosso objetivo, porém, é atingir níveis de ecoeficiência que impliquem melhorias da ordem de grandeza de 10 vezes em 50 anos (o Fator 10 discutido no capítulo inicial), focar apenas melhorias de processos internos à unidade produtiva ou sua cadeia imediata não será suficiente.

Nos degraus mais altos incluem-se medidas para as quais há necessidade de maior articulação, tanto com o mercado consumidor como com outros setores produtivos. Procura-se otimizar todo o mecanismo econômico-social para que este funcione articulado, respeitando a capacidade de suporte do nosso planeta.

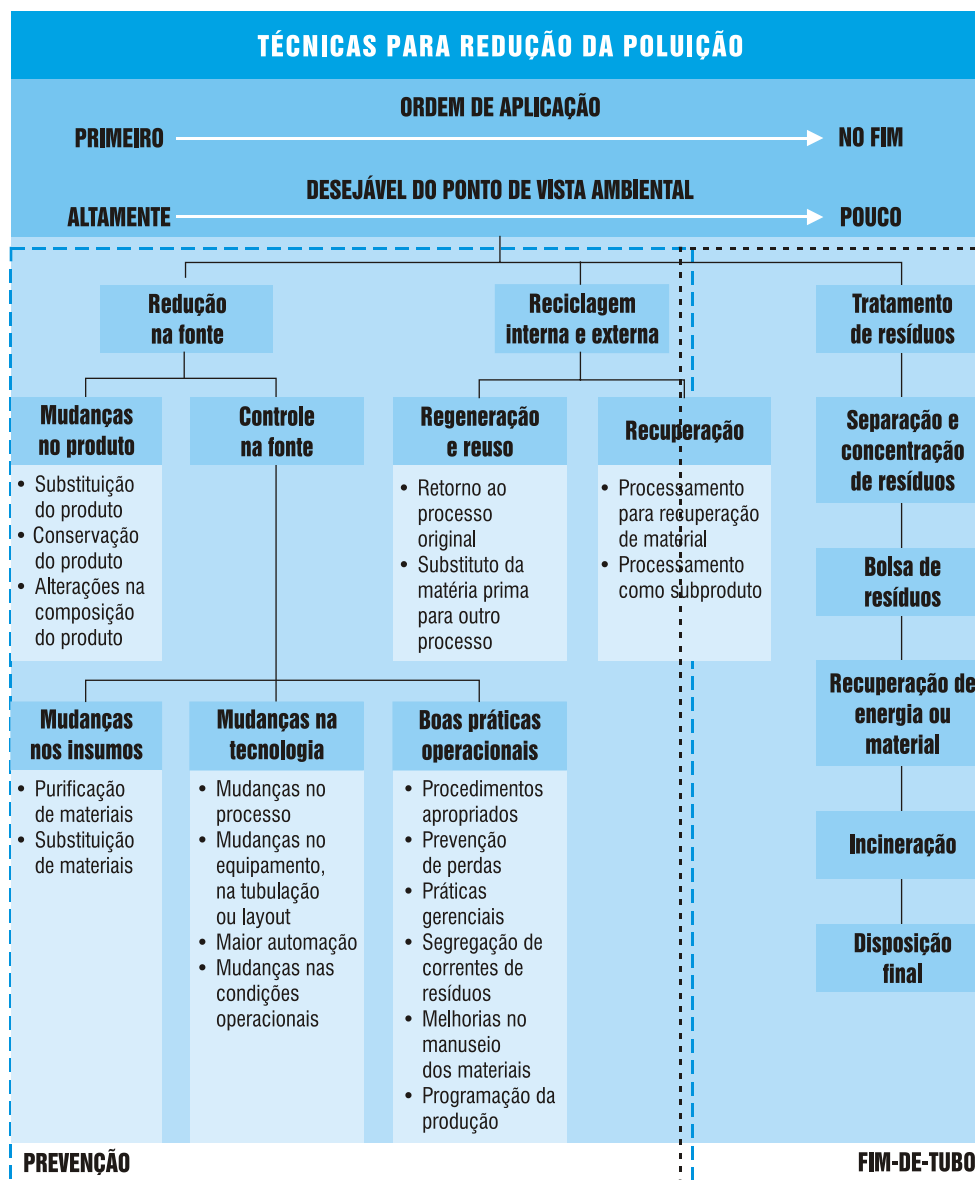
Neste capítulo e no seguinte discutiremos aspectos relativos ao estágio intermediário. Nos Capítulos 6 e 8 a abordagem se dará nos degraus seguintes:



Fonte: Construção própria.

FIGURA 3.2 – DO FIM-DE-TUBO À SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Para orientar este novo enfoque, consideremos o organograma a seguir que detalha alguns aspectos da Figura 3.3. Ele é muito utilizado por diversos autores, com algumas variações.



baseado em LaGrega (1994)

FIGURA 3.3 – ORGANOGRAMA MESTRE DAS AÇÕES PARA PREVENÇÃO E CONTROLE DA POLUIÇÃO,

Não interessa pensar agora se a perda vai ser para o ar, o solo ou um rio. Vamos focar nossa atenção em como não gerar resíduos.

Na Figura 3.3, as possíveis tecnologias e/ou atitudes, gerenciais e técnicas, organizam-se, da esquerda para a direita, e de cima para baixo, segundo sua importância ou prioridade de aplicação. Em outras palavras, quanto mais à esquerda, ou mais no alto, mais desejável é a atitude, ou a tecnologia. Esta ordem representa um indicativo para o levantamento de alternativas de intervenção. Na prática, ao se definir uma intervenção, deve-se procurar conciliar outros aspectos, tais como as características da planta considerada, custos de implementação das propostas, o retorno financeiro e o impacto ambiental. Mais adiante vamos aplicar este organograma a processos do nosso conhecimento para procurar identificar ações que nos levem, cada vez mais, para os estágios mais desejáveis. Primeiro convém revisar, e ilustrar com exemplos, cada uma das caixas do organograma.

REDUÇÃO NA FONTE, PENSANDO A MUDANÇA DO PRODUTO

É a primeira consideração a se fazer. Aqui, antes de tudo, convém se pensar se, afinal de contas, precisamos de um determinado produto ou o compramos e usamos “porque sempre foi assim” (ver o texto ao lado).

Uma empresa pode se antecipar à sua época mudando o produto que produz para eliminar seu impacto no meio ambiente e com isso reforçar sua posição no mercado. Pode-se citar o caso da empresa Interface, maior fabricante mundial de carpetes, que optou por substituir a venda de carpetes pelo fornecimento de serviços de cobertura de piso, retornando para a empresa o material após o uso. Com isso, eliminou um resíduo pós-uso, reincorporando o carpete usado a seu ciclo produtivo, como insumo.

PORQUE SEMPRE FOI ASSIM

O argumento “sempre foi assim” se repete em todos os ambientes e se faz presente nos diversos momentos de um projeto de Produção mais Limpa. Representa a dificuldade de pessoas e grupos de ousarem tentar novos paradigmas. Trata-se de assunto de tamanha importância que merece ser abordado aqui, em destaque, com uma piada. Caso já a conheça, não conte à turma...

Um grupo de pesquisa desenvolvia um estudo sobre o comportamento de pequenas comunidades de macacos. Sete símios conviviam numa confortável gaiola. O alimento, na forma de um cacho de bananas, era colocado pendurado com uma corda no meio da gaiola, a uma altura ao alcance da turma. Ao longo de um extenso período, a altura do cacho foi sendo aumentada, até exigir, primeiro, saltos acrobáticos individuais, e acrobacias coletivas, depois. Quando o esforço para se alcançar as bananas começou a ser tal que provocava um alto nível de estresse, introduziu-se na gaiola, num cantinho, uma escada...

Óbvio, todos já perceberam que os macacos logo entenderam a utilidade deste feliz instrumento. A vida voltou à normalidade e a felicidade voltou a reinar entre a macacada.

Mas como cientista que se preza não pode deixar os outros em paz por muito tempo, logo começaram a jogar um jato de água gelada nas costas dos macacos que ficavam no chão, olhando para o colega que subia na escada para pegar as bananas.

Incomodados com este tratamento, os macacos passaram a bater no infeliz que ousasse usar a escada para pegar o cacho, e voltaram à prática milenar de pegar o alimento com estressantes acrobacias.

Aos poucos os macacos condicionados com jato de água gelada foram sendo substituídos por outros que não tinham passado por esta experiência. Após sete semanas, não restava um único macaco que tivesse passado pelo desprazer de levar um jato de água gelada nas costas cada vez que um colega usava a escada para alcançar as bananas. Mas, mesmo assim, cada vez que um novo macaco era introduzido e ousava usar o maldito instrumento, apanhava horrores...

O grupo de cientistas continuou seus afazeres em outras experiências, deixando em paz os macacos por um bom tempo. Meses depois um inquieto estudante, na hora do almoço, ficou observando nossos amigos e achou muito estranho eles ficarem se matando de esforço para alcançar o cacho ao invés de usar a escada. Armou-se de coragem para fazer a pergunta, mesmo correndo o risco de fazer um papelão.

– Professor, mas por que os macacos não usam a escada????

Ao que o professor respondeu:

– Sei lá, sempre foi assim...

Questão para reflexão:

- Pesquise outros exemplos e avalie criticamente esta opção de substituir produtos por serviços.

A modificação de um produto para evitar a geração de resíduos depende de uma avaliação de mercado e requer uma visão de longo prazo por parte do produtor. Contudo, oportunidades de menor complexidade podem surgir se esta opção for considerada.

Shen (1995) sugere os seguintes critérios para o projeto de novos produtos:

- usar recursos naturais renováveis;
- usar material reciclado;
- usar menos solventes tóxicos ou substituí-los por produtos menos tóxicos;
- reutilizar sucatas e materiais em excesso;
- usar tintas com base de água em vez de solventes orgânicos;
- reduzir o uso de embalagem;
- produzir produtos com mais partes substituíveis ou que possam ser consertadas;

- produzir bens mais duráveis;
- produzir bens e embalagens que possam ser reutilizados pelos consumidores;
- fabricar produtos recicláveis.

Esta é uma tendência futura, considerada pelos ecologistas industriais, que exige uma mudança profunda na forma como se produz atualmente. Esta tendência será analisada com mais detalhe num momento posterior, quando discutiremos a Ecologia Industrial e o Projeto para o Meio Ambiente.

Questão para reflexão:

- Apresente um exemplo que ilustre a mudança de produto com sensíveis ganhos ambientais.

Se uma mudança no produto não pode ser implementada de imediato, pode-se, pelo menos, voltar a atenção para o processo produtivo existente e considerar alterações nos insumos, nas tecnologias de produção ou práticas de gestão que minimizem a geração de perdas para o meio ambiente. É o denominado Controle na Fonte.

MUDANÇA DE INSUMOS

O lançamento de óxidos de enxofre na atmosfera, oriundos de processos de combustão, pode ser reduzido ou minimizado pelo uso de óleos combustíveis com baixo teor de enxofre (BTE). O Programa e Plano Nacional do Reino Unido para a Redução de Emissões de SO_x e NO_x de Plantas de Combustão de Grande Porte, lançado em 1990 (DOE, 1990), para atender à Diretiva Européia 88/609/EEC, favoreceu uma migração para o uso, quase que exclusivo, de petróleo e gás natural do Mar do Norte, com baixo teor de enxofre, no lugar do carvão na alimentação do sistema termoeletrico. É um exemplo, em nível nacional, de controle da poluição na fonte através da mudança no uso de insumos.

Questão para reflexão:

- Apresente um exemplo que ilustre a mudança de insumos.

A substituição de insumos e produtos em geral, mas não sempre, envolve processos de decisão que podem ser complexos e extremamente dependentes de cada processo e das condições externas. A utilização de Análise de Ciclo de Vida auxilia na identificação de oportunidades e na escolha das alternativas de menor impacto. Este instrumento será visto com mais detalhe no capítulo seguinte.

Outros exemplos:

- Substituição do DDT e outros pesticidas organoclorados por produtos menos tóxicos e persistentes, tais como os organofosforados e piretróides no controle de pragas na lavoura;
- Utilização de produtos químicos em pellets em vez de pó, para reduzir emissões e perdas na embalagem e transporte;
- Uso de papel não branqueado no lugar de papel branqueado na indústria gráfica;
- Um exemplo no sentido inverso é o crescimento, na matriz energética brasileira, do uso de combustíveis fósseis a partir do programa de incentivo à implantação de usinas termoeletricas.

O setor de revestimentos e tintas, por exemplo, vem reduzindo o uso de compostos orgânicos voláteis a partir da substituição de tintas à base de óleo por tintas à base de água.

Um exemplo, quase pitoresco, citado por Graedel e Allenby (1995): substituição de munição de caça feita de chumbo por munição feita de bismuto, para reduzir a inserção de chumbo, metal muito tóxico, na cadeia alimentar.

MUDANÇAS NA TECNOLOGIA

Uma série de medidas consideradas de cunho tecnológico podem ser aplicadas visando evitar perdas, reduzir consumo de energia e quantidade de resíduos gerados num processo de produção. Estas medidas podem consistir em alterações do próprio processo, reconstruções relativamente simples ou instalação de equipamentos mais sofisticados que podem até mesmo mudar as condições operacionais. Vale salientar que freqüentemente estas medidas precisam ser combinadas com Boas Práticas Operacionais,

também conhecidas como “housekeeping “ – melhoria na manutenção da casa – e/ou com o uso de matérias-primas/insumos modificadas. (CNTL, 2000)

A seguir alguns exemplos:

- **Redução de consumo de energia**

Exemplo: instalação de detectores de movimento para ligar/desligar sistema de iluminação e aquecimento no local de trabalho.

- **Uso eficiente da energia**

Exemplo: uso de maquinário com controle de velocidade: bombas alimentadoras, ventilação, exaustores de gás combustível, etc.

- **Aumento da vida útil dos produtos químicos/materiais**

Exemplo: tratamento de emulsões lubrificantes refrigerantes através de ultrafiltração.

- **Redução da entrada de impurezas**

Exemplo: mudança de teto fixo de tanques de gasolina para teto flutuante.

MUDANÇAS NO PROCESSO

Na indústria de processos é comum se usar vapor de água para controlar reações químicas. A água é posteriormente retirada do produto, através de diferentes processos de separação, como a destilação, por exemplo. Em muitos casos esta água, contaminada com hidrocarbonetos e outros compostos do produto, é descartada como efluente de processo, indo para posterior tratamento. As empresas investem em caros sistemas de tratamento para remover esses compostos.

Esses tratamentos não fazem senão retirar os contaminantes da fase líquida para convertê-los em borras, ou lodos, sem valor econômico e que ainda deverão ter um tratamento posterior e/ou uma disposição adequada dispendiosa. Modificações no próprio processo podem permitir não apenas que a água contaminada retorne para o processo, como, ainda, que se aproveite esses contaminantes como matérias-primas, transformando perdas em ganhos econômicos e ambientais.

Na modificação dos processos de produção incluem-se desde aprimoramentos localizados em algumas etapas/equipamentos até a otimização da configuração de parte ou de todo o processo. Recentemente, pesquisadores dedicados ao desenvolvimento de metodologias para a síntese de processos começaram a introduzir a variável ambiental no âmago de suas propostas. Até o fim dos anos 80, no desenvolvimento desses métodos, as questões ambientais eram tratadas no final da elaboração do projeto conceitual.

O projeto preocupava-se apenas com a viabilidade econômica do processo, e as correntes residuais eram encaminhadas para tratamento e descarte, agregando custos ao projeto como um todo. O crescimento dos custos industriais relacionados a impactos sobre o meio ambiente e a consolidação do Princípio da Prevenção pressionaram por mudanças neste campo.

Nos métodos mais recentes, a geração de emissões, e o seu possível impacto ambiental, passa a fazer parte interna do processo de síntese. Os métodos hierárquicos propostos com este objetivo consistem no estabelecimento de prioridades para fazer uma síntese de processos e assim identificar fontes geradoras de resíduos. A síntese de processos é dividida em uma seqüência de etapas. Cada etapa corresponde a um nível de detalhamento do processo, e para que a etapa seguinte seja avaliada, o processo tem que se mostrar econômica e ambientalmente viável.

A evolução do método de decisões hierárquicas (Douglas, 1988 e 1992) ilustra esta tendência. As principais etapas deste método encontram-se na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 – PROCEDIMENTO DE DECISÕES HIERÁRQUICAS PARA MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS

NÍVEL 1	Informações de entrada, tipo de problema
NÍVEL 2	Estrutura de entrada e saída do fluxograma
NÍVEL 3	Estrutura de reciclagem do fluxograma
NÍVEL 4	Especificações do sistema de separações
NÍVEL 4A	Estrutura geral: separação de fases
NÍVEL 4B	Sistemas de recuperação de vapores
NÍVEL 4C	Sistemas de recuperação de líquidos
NÍVEL 4D	Sistemas de recuperação de sólidos
NÍVEL 5	Integração energética
NÍVEL 6	Avaliação de alternativas
NÍVEL 7	Flexibilidade e controle
NÍVEL 8	Segurança

Fonte: Douglas, JM, 1992.

As questões ambientais devem ser consideradas desde o nível inicial, porém são mais freqüentemente consideradas em etapas, como na definição de reciclagens de correntes, eficiência de separação, recuperação de materiais e, evidentemente, integração energética.

Outros autores, como Linnhoff, Smith e Petela (1992), também pensaram na inserção de aspectos ambientais no processo de síntese, propondo, para tal, o método da “cebola”, que consiste numa análise de resíduos gerados através de uma auditoria nas etapas de síntese de processo, de acordo com a seguinte ordem de prioridades: reator, sistemas de separação, redes de transferência de calor e sistemas de utilidades.

A hierarquização por eles proposta se dá a partir das partes componentes do processo em si e não da organização do próprio trabalho de síntese, como no enfoque de Douglas (Figura 3.4).

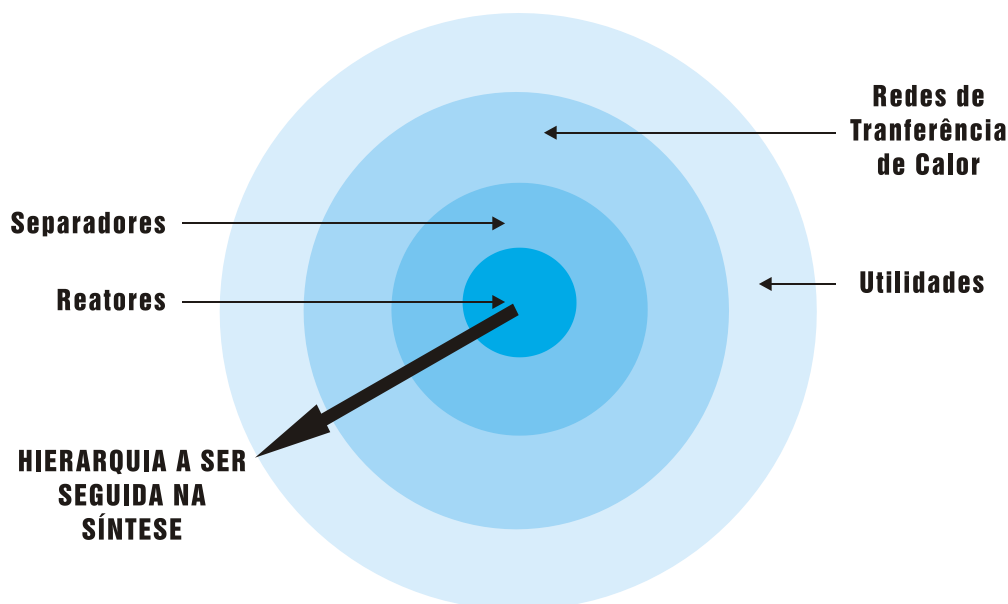


FIGURA 3.4 – DIAGRAMA DA CEBOLA PARA SÍNTESE DE PROCESSOS, SEGUNDO LINNHOF (SMITH E PETELA, 1992)

O trabalho de Smith e Petela (1992) atesta que a minimização de resíduos começa a ser pensada ao se projetar as reações químicas. Nesse momento, procuram-se maiores taxas de conversão das matérias-primas no produto final assim como na especificação de subprodutos de forma a poder ser, na seqüência, transformados em produtos de maior valor. Deve-se, também, discutir a eficiência energética do processo e as alternativas para um melhor desempenho.

Depois de ocorrida a reação que gera os novos produtos e subprodutos, estes devem ser separados de outros compostos indesejáveis. É comum se pensar apenas na especificação dos produtos principais, assumindo-se como inerente ao processo a geração de correntes residuais a serem tratadas ou descartadas. Cabe se verificar processos de separação mais eficientes que permitam maiores níveis de reuso e reciclo, transformando possíveis resíduos em insumos do próprio processo ou de outros.

A crise do petróleo dos anos 70 obrigou a indústria e os centros de pesquisa a desenvolver metodologias de otimização energética. Entre os métodos que mais se destacaram estão a Tecnologia Pinch e os métodos baseados em programação matemática.

Esses métodos, inicialmente, procuraram resolver o problema da otimização de redes de transferência de calor (HEN). Isto é, como se conseguir o melhor aproveitamento do calor contido em correntes (quentes) que requereriam resfriamento, para aquecer outras que requereriam aquecimento (frias). Esta otimização leva a reduções substanciais nos custos de capital, operacionais e ambientais relacionados com os sistemas de aquecimento e águas de refrigeração.

Os avanços conseguidos na otimização de redes de transferência de calor foram aproveitados para a síntese de redes de transferência de massa (MEN). Em 1989, El-Halwagi e Manousiouthakis definiram a síntese de redes de transferência de massa como um processo em que, dado um conjunto de correntes ricas e um conjunto de correntes pobres, sintetiza-se uma rede de trocadores de massa que possa transferir algumas substâncias das correntes ricas para as pobres com o mínimo custo.

Como trocadores de massa os autores consideraram qualquer operação de transferência de massa contracorrente, tais como extração líquido-líquido, adsorção, absorção, desorção, etc.

O conceito de otimização de redes de transferência de massa tem permitido, entre outras coisas, encontrar formas mais econômicas de reduzir os custos e os impactos relacionados ao uso da água, tratamento e disposição de efluentes.

Akehata (1991), citando o livro *O sistema de processos químicos fechados* (ainda não traduzido para o português), de Yasuharu Saeki, 1979, discute a idéia de fechamento dos processos químicos de forma a se reutilizar ao máximo os resíduos através da sua reincorporação no próprio processo. Para tanto, propõe-se a seqüência apresentada na Figura 3.5.



FIGURA 3.5 – FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO DE PROCEDIMENTOS PARA FECHAR UM PROCESSO QUÍMICO (AKEHATA, 1991)

O autor ilustra a idéia de fechamento do processo com o sistema de efluentes de uma indústria, como pode ser observado na Figura 3.6.

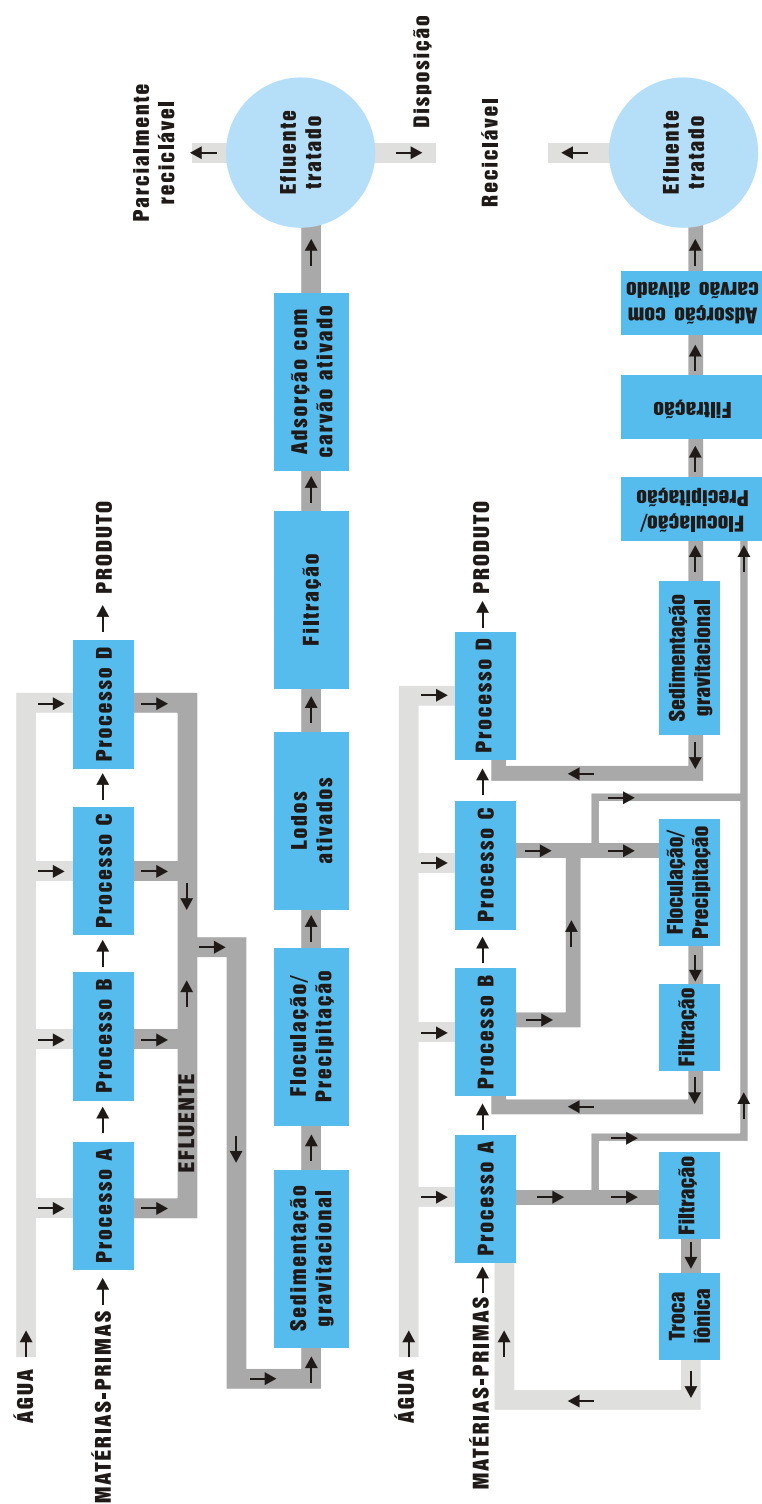


FIGURA 3.6 – DOIS MODELOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE PROCESSO (AKEHATA, 1991)

Observe que no exemplo de Akehata os tratamentos descentralizados são inseridos de forma a permitir o reciclo da água para o mesmo processo que gerou o efluente. Mas será que esta é a única alternativa? Por que não pensar em encaminhar o efluente de um processo diretamente a outro se este não exigir uma melhoria da sua qualidade? Bagajewicz (2000) apresenta uma interessante revisão de metodologias utilizadas para o projeto de redes de água e efluentes industriais, visando a soluções de máximo reuso e mínimo custo. Métodos de otimização, usando programação matemática, também já foram pesquisados para se sintetizar sistemas de reuso, tratamento final e descarte de efluentes líquidos de forma integrada, levando em consideração até mesmo a capacidade dos corpos receptores (Kiperstok & Sharratt, 1997; 1997a; 1997b).

Outros aspectos a serem considerados no que se refere à modificação de processo ou da sua tecnologia, para prevenir a geração de poluição:

- Melhoria dos sistemas de controle e melhoria do processo de produção:
 - melhor especificação final dos produtos;
 - redução na produção de produtos secundários de menor valor e resíduos;
- Desenvolvimento/substituição de catalisadores visando a:
 - maior recuperação, maior tempo de vida;
 - reciclabilidade;
 - menor impacto no seu descarte;
- Utilização de novas técnicas de extração e separação, visando à eliminação do uso de solventes orgânicos e maior eficiência no retorno de subprodutos a processo;
- Extração supercrítica;
- Membranas, osmose reversa, ultrafiltração, eletrodiálise.

Mas, ATENÇÃO, muitas modificações de processo podem ser introduzidas de forma simples e com base no bom senso, quando se observa o processo no qual temos trabalhado durante anos, com novos olhos.

É o caso de efluentes que sempre foram descartados para a canaleta e que podem ser aproveitados para *make-up* de uma torre de refrigeração. É o caso de retornar condensados para uso como água desmineralizada em outros processos, é o caso de checar se os equipamentos estão sendo utilizados conforme recomendado pelo fabricante!

Um exemplo divulgado por consultores do CNTL (Centro Nacional de Tecnologias Limpas), do SENAI/RS, é bastante ilustrativo de mudanças de processo na indústria metal-mecânica.

O setor de pintura de uma fábrica de implementos agrícolas gastava muita tinta pintando com pistola sobre pressão. Verificou-se que a substituição do processo de pintura pelo método eletrostático não seria viável economicamente a curto prazo e se decidiu investir um pouco de esforço para reduzir as perdas no processo vigente. Num primeiro momento, ao se checar a pistola utilizada, verificou-se que o orifício ejetor não correspondia ao especificado pelo fabricante. Sugeriu-se então o uso de um orifício menor. Ao se colocar esta alternativa para os operadores, a resposta foi rápida:

– Não vai dar certo, o bico entope!

Dito e feito, o bico entupiu.

– Tá veeendo?

Ao invés de desistir ante a resistência ao processo de mudança, o consultor de P+L foi a montante do processo e verificou o grau de diluição utilizado para a tinta. Não era o especificado pelos fabricantes da pistola.

Moral da história: especificou-se a tinta, reduziu-se o bico ejetor e, conseqüentemente, reduziram-se as perdas de tinta para a cortina de água e o sistema de tratamento.

BOAS PRÁTICAS OPERACIONAIS (GOOD HOUSEKEEPING PRACTICES)

A implementação de pequenas melhorias pode levar a grandes reduções na geração de resíduos e à descontaminação de um número significativo desses. A literatura apresenta uma extensa lista de experiências nesse sentido. Vale destacar o programa 33/50 da EPA, agência ambiental dos EUA.

A implementação de boas práticas operacionais depende, por um lado, de uma gestão que priorize a minimização de resíduos e, por outro, do desenvolvimento de um olhar crítico perante o próprio processo produtivo, no âmbito da organização. O exemplo do concurso de projetos para conservação de energia da Dow Química, Louisiana, EUA (em Graedel e Allenby, 1995) ilustra o potencial de desenvolvimento de um programa de minimização de resíduos (Tabela 3.3 e Figura 3.7).

TABELA 3.3 – RESULTADO DO CONCURSO DE IDÉIAS PARA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NA DOW/LOUISIANA						
	1982	1984	1986	1988	1990	1992
Projetos ganhadores	27	38	60	94	115	109
Retorno médio do investimento (%)	173	208	106	182	122	305

(em Graedel e Allenby, 1995)

Entre as ganhadoras incluem-se idéias aplicáveis a qualquer indústria, tais como: isolamentos de tubulações condutoras de fluidos quentes, limpeza e manutenção de trocadores de calor, uso de pontos de aquecimentos ao longo de tubulações longas e áreas de estocagem.

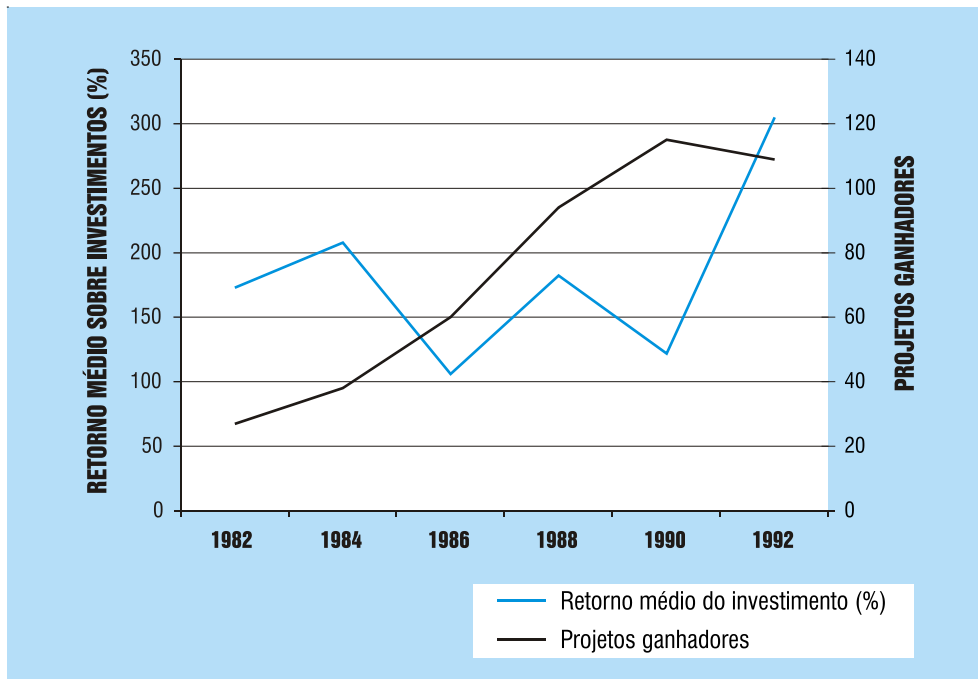


FIGURA 3.7 – CONCURSO DE IDÉIAS, DOW (GRAEDEL E ALLENBY, 1995)

Interessante notar no exemplo que o número de projetos contemplados teve uma clara tendência ascendente com o tempo. Os ganhos financeiros também mostraram uma evolução positiva. Fazemos esta observação porque é comum ouvir que num programa de minimização de perdas apenas nos momentos iniciais existem ganhos financeiros substanciais. Na realidade isso depende da forma como se implementa o programa. Quando o programa é interiorizado na empresa ou instituição, o surgimento de uma nova mentalidade entre os funcionários pode levar a ganhos adicionais ano a ano. A tendência ascendente das curvas também poderia ser explicada pela incorporação de novas tecnologias.

Nelson K. E. (1990), da Dow Química, Louisiana, apresenta algumas sugestivas idéias para se evitar resíduos: uso de esguichos para se reduzir as perdas de água na lavagem de equipamentos; verificação da própria necessidade de lavagem, e sua freqüência; aumento da pressão e redução da vazão; varrição de material inerte depositado em pátios de estacionamento, para se reduzir a geração de lodos contaminados em

estações de separação de óleo; varrição antes da lavagem de pisos. Estas são algumas considerações que podem ser feitas com relação ao gasto de água com lavagem de áreas e equipamentos.

Na indústria metal-mecânica, o tratamento das superfícies antes da pintura é um dos pontos mais importantes da geração de efluentes líquidos. Uma das fontes identificadas é a perda de compostos na sequência de banhos (ver Figura 3.8).

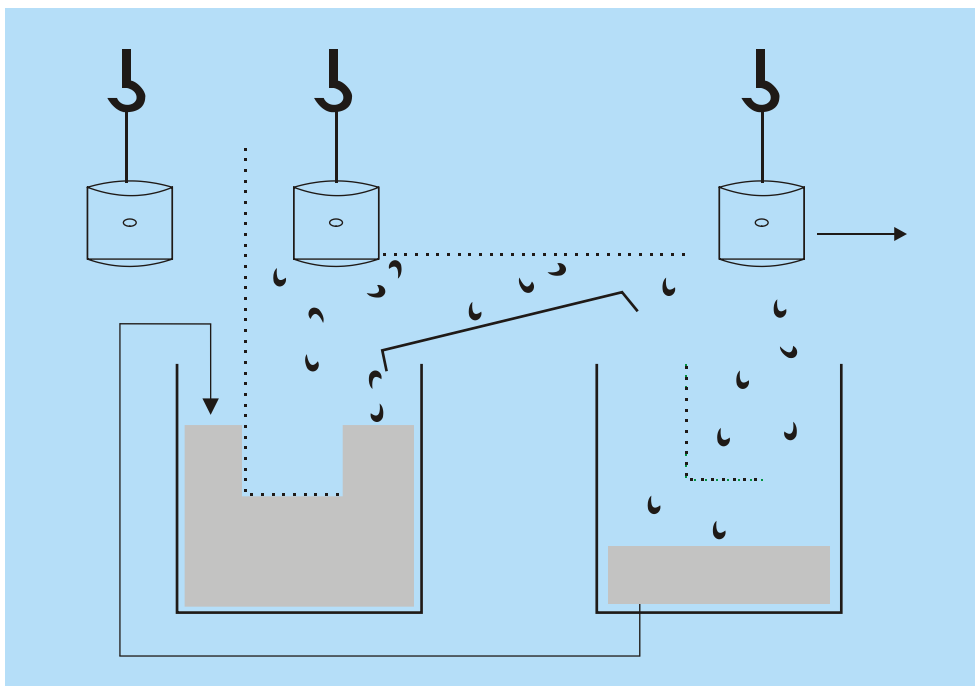
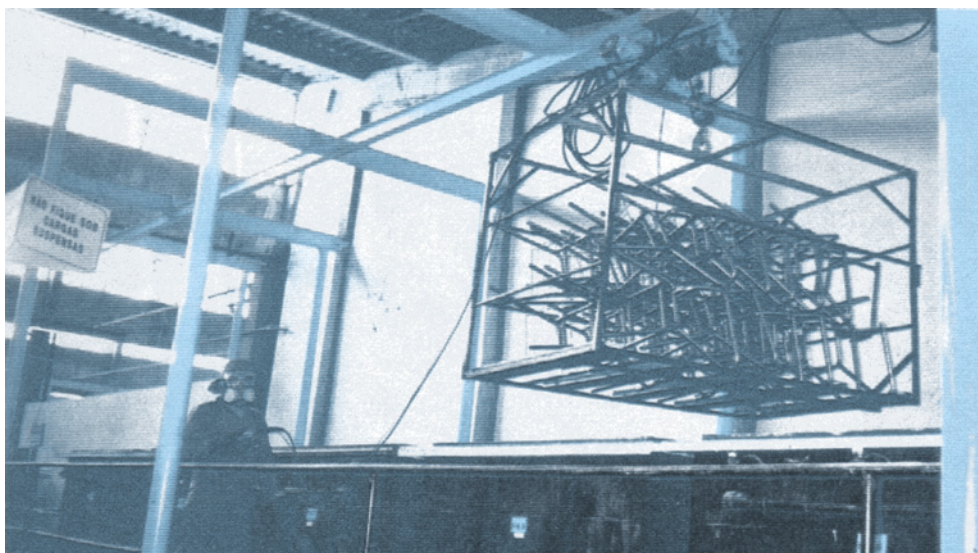


FIGURA 3.8 – MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE TRATAMENTO DE METAIS (LAGREGA, 1994)

Observe a imagem seguinte. Temos aqui um exemplo de processo ineficiente, em que uma solução simples como a apresentada anteriormente evitaria perdas.



Fonte: UFBA/TECLIM.

FIGURA 3.9 – GAIOLA TRANSPORTANDO PEÇAS METÁLICAS PARA O TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES

Em vez de, apenas, se tratar o efluente gerado, a colocação de canaletas invertidas entre os tanques de produtos evita perdas dos compostos de tratamento e reduz a carga para o tratamento.

No controle na fonte deve se dar principal atenção à redução de toxicidade dos resíduos. O Instituto para a Redução do Uso de Compostos Tóxicos (TURI), da Universidade de Massachusetts, em Lowell (<http://turi.uml.edu>), vem desenvolvendo estudos nas áreas de solventes alternativos, novos métodos para limpeza de superfícies e métodos alternativos para tratamento de metais, entre outras atividades. Esse estado americano instituiu umas das mais avançadas legislações de combate ao uso de substâncias tóxicas, incluindo a criação do próprio TURI. A minimização do uso dessas substâncias é um conceito considerado sinônimo de Prevenção da Poluição.

Questão para reflexão:

- Visite a página do TURI e identifique idéias interessantes para seu negócio.

Convém também conhecer o inventário de lançamentos tóxicos, TRI (Toxic Release Inventory), do governo federal americano. Trata-se de um extenso banco de dados, regularmente atualizado, sobre o uso e emissão de substâncias tóxicas nos EUA. As informações estão à disposição do público em geral através da Internet e de bibliotecas públicas (<http://www.epa.gov/opptintr/tri/index.html>). Criado com base no Ato sobre Planejamento de Emergências e o Direito a Saber da Comunidade, de 1986, o TRI concentra as informações sobre substâncias tóxicas manipuladas por todas as empresas e organizações do país, com mais de 10 empregados, que produzem mais de 11 toneladas dos aproximadamente 600 produtos químicos designados, ou usam mais de 4,5 toneladas desses produtos.

O mapeamento da toxicidade dos efluentes líquidos de uma indústria permite a identificação de prioridades para a minimização desta na fonte. Técnicas de biomonitoramento das correntes de efluentes podem ser utilizadas para tanto. A idéia consiste em se identificar em que pontos do processo são liberadas substâncias que conferem toxicidade significativa ao efluente da indústria, para que essas fontes sejam atacadas prioritariamente.

RECICLAGEM INTERNA E EXTERNA

Esgotadas as idéias para redução na fonte, passa-se a pensar no reuso e reciclagem de resíduos gerados. Normalmente, se define reuso como sendo o aproveitamento de um resíduo ou efluente diretamente em um outro processo, sem que para isso haja necessidade de promover qualquer adequação das suas características. Já reciclagem seria o aproveitamento do resíduo a partir de uma modificação das suas características para atender aos requisitos de um outro processo.

A ênfase aqui é para o reuso e reciclagem de forma a se aproveitar o maior valor agregado a uma corrente residual. Normalmente é mais proveitoso se esgotar as alternativas de reuso-reciclagem internas ao processo antes de se pensar em alternativas externas.

Ao se abordar a questão da reciclagem externa cria-se uma ponte com os conceitos de projeto para o meio ambiente e projeto para reciclagem, que serão abordados posteriormente neste módulo. Discute-se aqui a questão do aproveitamento de parte ou

a totalidade dos componentes de um produto final após sua utilização pelo consumidor. Graedel e Allenby (1995) apresentam, na Figura 3.10, uma forma interessante de hierarquizar alternativas de reciclagem.

Observe que se propõe o aproveitamento de conjuntos de partes agregadas de forma a se recuperar o maior valor possível. Quanto maior o valor do conjunto reaproveitado, maior a recuperação de recursos naturais. Na reinserção, por exemplo, da estrutura de um banco de automóvel completo, num automóvel novo, está implícita uma recuperação de energia e materiais muito maior do que a simples reciclagem dos metais e plásticos que compõem esta peça.

No topo desse esforço situa-se a própria extensão do tempo de vida do produto em si. A simples consideração dessa possibilidade provoca no leitor uma reação:

Mas isto não é contrário aos próprios interesses do fabricante???

Alguns indícios, que podem apontar para a quebra desta lógica, começam a surgir. A Resolução CONAMA 258, de 1999, regulamenta a reciclagem de pneus e coloca sob responsabilidade dos fabricantes, a partir de 2005, a retirada do mercado de cinco pneus usados para cada quatro produzidos.

Esse tipo de legislação, enquadrada entre as denominadas de “Responsabilidade Estendida aos Produtos”, poderá tornar interessante o aumento da vida útil dos pneus, como medida de economia para o setor como um todo. Claro que para se obter esses resultados, é preciso um esforço muito maior do que apenas o realizado na fabricação dos pneus, na pesquisa e desenvolvimento do produto. Isso também implica num processo de educação do consumidor para o uso do produto (não rodar com pneus fora da pressão ideal...), e no compromisso do estado em manter as vias em boas condições de trânsito. Longe da realidade atual, sem dúvida, mas vale a pena começar a se “antenas” com a proposta de um futuro melhor.

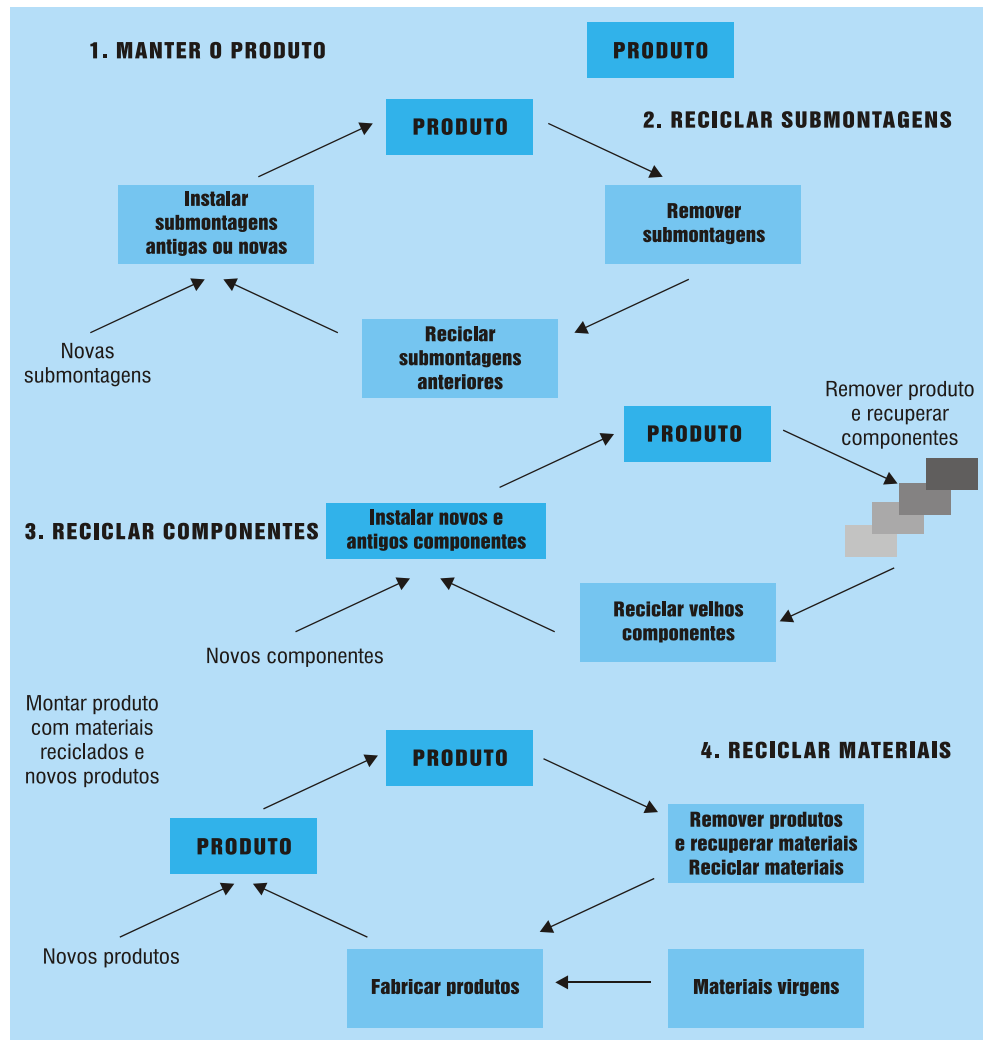


FIGURA 3.10 – HIERARQUIA DE PREFERÊNCIAS PARA RECICLAGEM (GRAEDEL E ALLENBY, 1995)

É bom salientar que vários autores apresentam de maneiras diferentes os assuntos discutidos neste capítulo.

Shen (1995) sugere algumas medidas práticas para a minimização dos resíduos nos processos produtivos:

- identificar melhorias nos sistemas de limpeza, considerando:
- uso de água em vez de solventes orgânicos;
- utilização de revestimentos mais resistentes que permitam o uso de maior pressão de lavagem e conseqüentemente menores vazões de água;
- uso de revestimentos não aderentes;
- separação e recirculação d'água;
- reuso d'água;
- segregar correntes de emissões.

Lembre-se que:

Uma gota de poluente numa solução pura cria um recipiente inteiro de poluição.

A separação de resíduos de não-resíduos reduz a quantidade de resíduos a ser manipulada. Ao se misturar emissões de processos diferentes reduz-se a possibilidade para o seu reaproveitamento, pela geração de novas misturas e até pela criação de novos compostos, diferentes das matérias-primas utilizadas e produtos gerados.

As diferenças entre as propriedades físicas e químicas dos diversos materiais originais devem ser aproveitadas para facilitar os processos de separação e retorno à produção. Essas diferenças se perdem ao misturá-los nas correntes de resíduos.

É muito comum, na indústria, a existência de redes de drenagem únicas e sem cadastro ou cadastros inexatos. É comum, ainda mesmo que após o cadastramento, que as informações estejam incorretas. Isso dificulta a segregação das correntes de efluentes.

Cabe também se considerar a segregação de poeiras provenientes dos filtros de sistemas de remoção de material particulado instalados para reduzir a poluição atmosférica.

Um exemplo clássico de efeitos negativos, ambientais e econômicos, da não segregação de resíduos é a do lixo dos serviços de saúde. A não-segregação dos resíduos

infecciosos e perfurocortantes dos resíduos convencionais (administrativo, refeitórios, etc.) obriga a manipulação de todos os resíduos, na coleta e transporte, com medidas e custos relacionados aos de resíduos perigosos para preservar a saúde dos trabalhadores envolvidos nessas atividades.

Graedel e Allenby (1995) apontam para algumas práticas interessantes para minimizar perdas materiais e energéticas e facilitar a reciclagem de materiais. Este assunto é também lembrado no Capítulo 6 – Ecologia Industrial e Projeto para o Meio Ambiente:

- minimizar o número de componentes e materiais diferentes nos produtos a serem reciclados;
- evitar usar compostos tóxicos e, quando isso não é possível, facilitar sua identificação e remoção;
- evitar montar peças de materiais diferentes de forma que sua separação seja difícil.

Outras práticas a serem consideradas:

- para a reciclagem de alguns materiais: quando não é possível reduzir o volume ou a toxicidade de um resíduo pode-se procurar seu reaproveitamento. Em geral, quanto mais próximo do processo que o gerou, maior o valor do resíduo. No caso de resíduos perigosos, esta regra também reduz riscos de acidentes;
- para o reuso d'água: a água, saindo como efluente de um determinado processo pode ser diretamente usada em outros processos que requeiram menor nível de qualidade da água, desde que os contaminantes não interfiram no processo ou, até mesmo, possam se incorporar ao produto. Isso reduz tanto a quantidade de água utilizada como a vazão de efluentes líquidos, podendo ou não alterar a carga final do poluente na saída para tratamento final;
- para regeneração e reuso: o efluente de um processo pode ser tratado parcialmente para atender às exigências de um outro processo. Esta regeneração pode ser específica para a remoção daqueles poluentes que impedem seu reuso. Nesse caso, pode-se conseguir melhores relações custo-benefício do que se tratando todos os efluentes ou removendo todos

os contaminantes neles inseridos. Em alguns casos, efluentes podem ser tratados de forma que possam ser reaproveitados no mesmo processo (regeneração e reciclagem).

A recuperação de solventes para reuso é uma prática comum na indústria que deve ser estendida. O uso de solventes em cascata reduz a quantidade de solvente utilizada.

Óleos contaminados podem ser usados em funções menos exigentes ou ser regenerados e reusados, ou reciclados. Em determinadas circunstâncias, óleos contaminados podem ser misturados com óleo combustível para queima em caldeiras. Isso requer um cuidado especial, para evitar o lançamento de compostos tóxicos na atmosfera. A depender da técnica utilizada para a remoção de óleo de efluentes aquosos pode-se conseguir maiores reaproveitamentos. LaGrega et al., 1995, cita um caso em que o uso de ultrafiltração levou a um acréscimo de 40% na recuperação de óleo com relação à remoção por flotação com ar dissolvido, anteriormente utilizada.

As bolsas de resíduos também promovem grandes oportunidades. Elas visam colocar à disposição de terceiros resíduos da indústria. Entre as informações necessárias para a comercialização de resíduos deve-se incluir: identificação da companhia (nome ou código), tipo de resíduo (ácido inorgânico, solvente orgânico, etc.), compostos principais, contaminantes, estado físico, quantidade, área geográfica, embalagem, etc.

O site do CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem) merece uma consulta: (<http://www.cempre.org.br/index2.htm>). Nele se encontram casos interessantes, como o do papel de escritório e o óleo lubrificante usado, entre outros.

EMBALAGENS E TRANSPORTE

Um outro aspecto que podemos chamar atenção para a necessidade de considerar de maneira transversal, na aplicação de técnicas de redução da poluição num processo produtivo, é o relacionado com embalagens e transporte. Avaliações recentes mostram que atualmente mais de 30% do material coletado pelos serviços de limpeza nos países desenvolvidos são resíduos de embalagens (Graedel e Allenby, 1995).

Quarenta por cento das embalagens utilizadas nos EUA são utilizadas para transferir produtos entre corporações. Este dado permite racionalizar as negociações, visando à redução do impacto das embalagens.

O programa “Anjo Azul” da Alemanha requer que as embalagens sejam totalmente recicláveis, tenham o máximo de componentes reciclados, não contenham compostos tóxicos (ex.: metais nas tintas) e não sejam branqueadas, no caso do papel.

Algumas sugestões de prioridades no que se refere às embalagens (Graedel e Allenby, 1995):

1. Não usar embalagens;
2. Usar o mínimo de embalagens;
3. Usar embalagens consumíveis, retornáveis, que possam ser reenchidas ou reutilizadas;
4. Usar embalagens recicláveis.

FECHAMENTO

As técnicas propostas neste capítulo de redução da poluição são utilizadas nos diversos programas, cujo princípio é o de prevenir.

É bom lembrar, nesse momento, o que não é Prevenção da Poluição:

- tratamento de resíduos;
- concentração de componentes nocivos ou tóxicos para diminuir volume;
- diluição de componentes para reduzir nocividade ou toxicidade;
- transferência de componentes nocivos ou tóxicos de um ambiente para outro.

Discutimos com você diversas técnicas e apresentamos exemplos de cada uma delas, com a finalidade de fazer com que você perceba a necessidade de parar para repensar produtos e processos, enxergando oportunidades de melhoria. Tente priorizar as medidas que visem à redução na fonte geradora de problema, pois estas, com certeza, vão contribuir de maneira mais eficaz para uma produção mais limpa.

Temos a certeza de que com o seu conhecimento do processo produtivo, e das técnicas de Prevenção da Poluição que você deve ter absorvido neste capítulo, aliado aos de seus colegas de trabalho, você terá condições de assumir o papel de agente de transformação, propondo e implementando muitas ações que irão se constituir em experiências bem-sucedidas de Prevenção da Poluição e que poderão ser compartilhadas com outras empresas. Sua motivação e seu comprometimento com a melhoria da qualidade ambiental vão fazer diferença onde quer que você esteja!

No próximo capítulo, apresentaremos uma metodologia de gestão ambiental amplamente usada e de eficácia comprovada para implantar um programa de Prevenção da Poluição num processo produtivo.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIAS DE GESTÃO AMBIENTAL COM ENFOQUE EM PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO E MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS

Arlinda Coelho

SENAI • CETIND • Centro de Tecnologia Industrial Pedro Ribeiro

“Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável, mas não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto.

A não ser assim, ele se assemelhará, com seus conhecimentos profissionais, mais a um cão ensinado do que a uma criatura harmoniosamente desenvolvida.”

Albert Einstein

Vimos nos capítulos anteriores que a intensificação dos processos produtivos, principalmente após a Segunda Guerra Mundial, teve como consequência uma série de problemas ambientais que afetaram a qualidade de vida na Terra.

Verificamos, ainda, que o momento atual exige um repensar na reestruturação de nações, na criação de blocos regionais, na organização de mercados e na criação de requisitos ambientais que sejam cumpridos por todos e em favor de todos para que possamos garantir a sobrevivência das gerações futuras.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir Prevenção da Poluição / Produção mais Limpa e discutir como surgiu.
- Apresentar o histórico da P+L no Brasil.
- Comparar os modelos de gestão ambiental: Prevenção da Poluição/Produção mais Limpa X Fim-de-tubo.
- Apresentar a metodologia desenvolvida por UNIDO-UNEP para dar suporte ao processo de implantação de Produção mais Limpa nas empresas.
- Analisar a Produção mais Limpa como instrumento de marketing.
- Fazer um estudo comparativo entre SGA, baseado na norma ISO 14001, e Produção mais Limpa.

Segundo o Worldwatch Institute (2000), “As economias não serão suportáveis por muito tempo a menos que o ambiente natural que as sustenta o seja”. No entanto, para que o ambiente se suporte, é preciso promover uma relação mútua entre ambientalismo e crescimento econômico, propiciando o desenvolvimento sustentável, obtido a partir de uma redução dos impactos ambientais decorrentes principalmente de atividades produtivas (Capra, 2000).

Quando analisamos as inter-relações entre o conceito de desenvolvimento sustentável, baseado no crescimento sem comprometimento das necessidades das futuras gerações, e o processo de gestão ambiental, envolvendo um conjunto de ações visando à melhoria do desempenho ambiental, verificamos que a transformação dos bens comuns globais (*global commons*) constitui a manifestação mais recente e talvez mais incontornável das questões contemporâneas dos “limites do crescimento”.

As alterações verificadas na atmosfera e biosfera são o resultado cumulativo de padrões globais de industrialização impostos por modelos ultrapassados de gestão ambiental (Sadler, 1994).

Essas tendências têm reflexos em termos da liderança ambiental, em nível nacional e local, podendo ser encaradas como uma condenação das abordagens convencionais de gestão ambiental. Dessa forma, a primeira abordagem reativa de “fim-de-tubo” adotada no controle da poluição, que apoiou os instrumentos de gestão, Avaliações de Impacto Ambiental (AIA) e a Avaliação dos Projetos de Grande Investimento de Capital, tornou-se impotente para lidar com problemas globais e regionais de segunda e terceira geração, resultantes de alterações cumulativas.

A mudança para uma visão de sustentabilidade baseada nos três pilares da ECOEFICIÊNCIA: ambiental, econômica e social, para que uma empresa ou um processo seja válido, ou seja, ambientalmente compatível, economicamente rentável e socialmente justo, implica a adoção de modelos de gestão que identifiquem as causas dos problemas ambientais para evitar a necessidade de medidas de caráter corretivas, reduzindo os impactos provocados por estes no meio ambiente, possibilitando a definição de alternativas que sejam viáveis economicamente e que contribuam efetivamente para a melhoria da qualidade de vida na Terra (Sadler, 1994).

Os modelos de gestão ambiental propostos atualmente pelos países desenvolvidos como estratégia para substituir a abordagem de gestão ambiental de fim-de-tubo que utilizam as tecnologias de tratamento/disposição de resíduos, baseiam-se fundamentalmente no princípio de Prevenção da Poluição – PP ou P2.

Conforme visto no capítulo anterior, a gestão ambiental baseada na Prevenção da Poluição derruba o velho paradigma de que resíduos são subprodutos inevitáveis da produção, sendo, portanto, inerentes a todo processo produtivo para assumir o novo paradigma de que gerar resíduos representa uma ineficiência do processo produtivo, pois isto significa a transformação de matérias-primas/insumos, com alto valor agregado, em produtos de baixo ou nenhum valor que podem, ainda, adicionar mais custos ao processo produtivo, quando são tratados/dispostos devidamente (Gardner, 2001).

Os modelos de gestão referidos anteriormente pressupõem ainda transparência e abertura das informações pelas empresas e organizações do setor público, num estímulo à prática de *benchmarking* e à publicação de relatórios com o objetivo de contribuir para a elevação dos padrões ambientais (Andrade, Marinho, Kiperstok, 2001).

Neste capítulo, portanto, apresentamos os modelos de gestão ambiental baseados nos princípios de Prevenção da Poluição, adotados como estratégia para promover o desenvolvimento sustentável, através do estímulo às empresas da prática de identificação das causas dos problemas ambientais decorrentes de atividades produtivas, a fim de eliminá-las na fonte. Evita-se, assim, ações corretivas para os impactos ambientais, trazendo inúmeros benefícios para as empresas e o meio ambiente em geral.

4.1 PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO/PRODUÇÃO MAIS LIMPA – O QUE É? COMO SURTIU?

A adoção de metodologias de Prevenção da Poluição vem sendo proposta como estratégia eficaz para evitar os desperdícios de matérias-primas e energia, convertidos em resíduos sólidos, líquidos e gasosos, responsáveis por adicionar custos aos processos produtivos e gerar problemas ambientais.

Atualmente é possível encontrar várias abordagens concorrentes promovidas no mundo por entidades nacionais e internacionais:

- PP ou P2 – Prevention Pollution, divulgada pela EPA – Environmental Protection Agency (EPA, 1990);
- P+L – Produção mais Limpa, desenvolvida pela UNIDO – United Nations for Industrial Development e UNEP – United Nations Environmental Program (UNEP, 1994);
- PL – Produção Limpa, defendida por organizações ambientalistas e vários centros de P&D – Pesquisa e Desenvolvimento;
- Ecoeficiência, desenvolvida pelo WBCSD – World Business Council for Sustainable Development (Signals of Change, 1995).

A publicação do WBCSD intitulada *Eco-efficiency and cleaner production* (WBCSD, 1996), estabelece a perfeita complementaridade entre os conceitos de ecoeficiência, definida como uma orientação gerencial estratégica, cientificamente embasada, e Produção Limpa, definida como conjunto de procedimentos de chão-de-fábrica, muito mais integrado ao processo.

Na literatura, é freqüente encontrar referências em relação à Produção Limpa (PL) como: “Tecnologias Limpas”, “Tecnologias mais Limpas”, “Produção mais Limpa”, “Tecnologias de Baixos Desperdícios”, entre outras. Também se encontra a PL relacionada a conceitos e metodologias da qualidade, como Total Quality Environmental Management – TQEM, terminologia introduzida pela Global Environmental Management Initiative – GEMI, em 1991 (Pio, 2000).

Dessa forma, é importante apresentar as características mais importantes, principalmente de Produção Limpa e Produção mais Limpa, para facilitar o entendimento do nível de comprometimento relacionado a cada um desses programas, que podem ser adotados por uma empresa visando a uma melhor gestão ambiental.

Segundo Furtado (2000), tanto Produção Limpa como Produção mais Limpa são programas baseados no princípio da Prevenção da Poluição, defendendo a exploração sustentável de fontes de matérias-primas, a redução no consumo de água e energia e a

utilização de indicadores de desempenho ambiental. No entanto, vale salientar que a proposta de Produção Limpa é mais audaciosa, pois:

- baseia-se no princípio da precaução, o qual determina o não-uso de matérias-primas e não-geração de produtos com indícios ou suspeitas de provocar problemas ambientais;
- avalia o ciclo de vida do produto/processo considerando a visão holística;
- disponibiliza ao público em geral informações sobre riscos ambientais de processo e produtos;
- estabelece critérios para tecnologia limpa, reciclagem atóxica, *marketing* e comunicação ambiental;
- limita o uso de aterros sanitários e tem restrições à incineração como alternativa de tratamento de resíduos.

No que se refere à Produção mais Limpa (P+L), este programa representa um processo de melhoria contínua visando tornar a atividade produtiva cada vez menos danosa ao meio ambiente. Um outro aspecto a considerar ainda é que as metodologias propostas com este objetivo não se baseiam apenas em tecnologia, englobando também a forma de gestão das empresas.

As alternativas apresentadas normalmente, no âmbito de um programa P+L, para atingir os objetivos propostos, são conhecidas como “Técnicas de Produção mais Limpa”.

As Técnicas de Produção mais Limpa consistem em uma série de medidas que podem ser implementadas na empresa, compreendendo desde uma simples mudança de procedimento operacional até uma mudança de processo ou tecnologia.

Vale salientar, no entanto, que este caráter mais abrangente das metodologias de P+L atualmente propostas, contemplando até mesmo técnicas gerenciais, pode contribuir para que as empresas tendam a dar mais ênfase a estas últimas, pois normalmente representam menor custo, fazendo com que seja mais freqüente o uso de alguma engenharia adaptativa, preservando os projetos e as patentes originais, sem promover uma mudança mais efetiva no processo produtivo.

4.2 HISTÓRICO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA NO BRASIL

Resgatando um pouco do histórico da Produção mais Limpa no Brasil, em 1992 ocorreu a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento – RIO-92, em que o foco, segundo o Greenpeace, foi erroneamente voltado para a discussão sobre Tecnologias Limpas, apresentando estas como solução para os problemas ambientais, estimulando muito mais o aspecto mercadológico do que o de discussão propriamente dita dos danos ambientais e sociais causados por tecnologias e práticas inadequadas adotadas em todo o mundo (Pio, 2000).

Em 1995, o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI)/Departamento Regional do Rio Grande do Sul foi escolhido pela UNIDO e UNEP para sediar um Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL), visando atuar como agente disseminador das técnicas de Produção mais Limpa no seio da Confederação Nacional da Indústria (CNI).

Em 1997, realizou-se a Conferência Latino-Americana para o Desenvolvimento Sustentável e Competitividade, na qual o presidente do Brasil, Fernando Henrique Cardoso, deu um depoimento estimulando as empresas a aderirem a programas de Produção mais Limpa como alternativa de aumento de competitividade e sustentabilidade.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) vem atuando também como um agente disseminador do programa Pollution Prevention (P2) da Environmental Protection Agency (EPA), reestruturando em 1997 o programa Controle da Poluição Industrial de São Paulo (PROCOP) com base nos conceitos de Prevenção da Poluição/Produção mais Limpa. Em outubro de 1998, a CETESB promoveu a Conferência das Américas sobre Produção Limpa, na qual foi assinada a Carta de São Paulo pelos governos dos EUA, Chile, Brasil, Costa Rica e Jamaica.

Esta conferência instituiu como primeira recomendação considerar Produção mais Limpa (P+L) e Prevenção da Poluição (P2) como elementos norteadores para a política e legislação ambiental em nível dos governos federal, estadual e municipal, bem como para o planejamento estratégico das empresas e organizações não-governamentais (Pio, 2000).

A partir de 1998, o CNTL-SENAI/RS e o CEBDS (Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável), numa ação conjunta com o SEBRAE-Nacional e outras instituições, começaram a desenvolver a Rede Brasileira de Produção mais Limpa com o objetivo de repensar a relação entre o processo produtivo e o meio ambiente, dentro da ótica do aumento da ecoeficiência e da produtividade.

Faz parte da estratégia utilizada pela Rede promover a internalização de conceitos e práticas de P+L a partir da realização de cursos de capacitação, consultorias às empresas, fóruns, seminários e outras atividades.

Atualmente esta Rede envolve vários órgãos de governo, centros de pesquisa, instituições de ensino, etc., que se encontram relacionados no Quadro 4.1 a seguir:

- CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável.
- SEBRAE-Nacional – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas.
- CNI – Confederação Nacional da Indústria.
- CNTL-SENAI/RS – Centro Nacional de Tecnologias Limpas.
- Centro Tecnologias Limpas do DR/SP.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.
- FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos.
- MMA – Ministério de Meio Ambiente.
- NPLs – Núcleos de Produção mais Limpa (BA, MG e SC).
- SENAI/SP.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo.
- UFBA – Universidade Federal da Bahia/TECLIM.

QUADRO 4.1 – PARTICIPANTES DA REDE DE TECNOLOGIAS LIMPAS DO BRASIL

Em nível estadual, podemos destacar a formalização na Bahia, em 1999, da Rede TECLIM, de Tecnologias Limpas, coordenada pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), com o apoio da Redes Cooperativas de Pesquisa (RECOPE), FINEP, Centro de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CADCT) da Secretaria de Planejamento do Governo do Estado da Bahia e do Centro Nacional de Pesquisa (CNPq) do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT).

Com a finalidade de fortalecer a Rede TECLIM, a Federação da Indústria do Estado da Bahia/Instituto Euvaldo Lodi (FIEB/IEL) também instituiu o Programa de Tecnologias Limpas na Bahia (PTL/BA), com adesão de várias empresas e instituições de ensino e pesquisa locais.

4.3 PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO/PRODUÇÃO MAIS LIMPA X TECNOLOGIAS FIM-DE-TUBO

O Ministério do Meio Ambiente e de Energia da Província de Ontário, Canadá, definiu a Prevenção da Poluição como:

“Qualquer ação que reduza ou elimine a geração de poluentes ou resíduos na fonte, realizada através de atividades que comprovem, encorajem ou exijam mudanças nos padrões de comportamento industrial, comercial e geradores institucionais ou individuais.” (SENAI, 1998)

Segundo Prestrelo et al. (2000), a lei americana de Prevenção da Poluição de 1990 (Pollution Prevention Act 1990) define a Prevenção da Poluição (P2) como:

“quaisquer práticas, uso de materiais, processos que eliminem ou reduzam a quantidade e/ou toxicidade de poluentes, substâncias perigosas ou contaminantes em sua fonte de geração, prioritariamente à reciclagem, tratamento ou disposição final (...)”.

Segundo o CNTL*1 (2000), a Prevenção da Poluição inclui práticas que eliminem ou reduzam o uso de materiais (nocivos ou inofensivos), energia, água ou outros recursos, bem como privilegiem aqueles procedimentos que protegem os recursos naturais através da conservação e do uso mais eficiente.

Um programa de Prevenção da Poluição industrial é dirigido a todos os tipos de resíduos e representa uma revisão abrangente e contínua das operações numa instalação, visando à minimização dos resíduos.

Para que a implementação de um programa de Prevenção da Poluição numa empresa seja eficaz, este deve:

- proteger o funcionário, a saúde pública e o meio ambiente;
- melhorar o moral e a participação dos funcionários;
- reduzir os custos operacionais;
- melhorar a imagem da empresa;
- reduzir o risco de responsabilidade criminosa ou civil.

A definição oficial da Produção mais Limpa dada pela UNIDO é:

“Produção mais Limpa significa a aplicação contínua de uma estratégia preventiva, econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso das matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em todos os setores produtivos.” (CNTL*1, 2000)

Para processos produtivos, a Produção mais Limpa inclui o uso mais eficiente das matérias-primas, insumos e energia, a redução dos materiais tóxicos e perigosos e a minimização na fonte de resíduos sólidos, efluentes e emissões.

Para produtos, a busca é pela redução dos impactos ambientais associados a estes, e a estratégia adotada é baseada em dois instrumentos:

- ACV – Análise de Ciclo de Vida, instrumento de gestão que avalia o ciclo de vida completo de um produto, processo ou atividade desde a extração e processamento de matérias-primas, fabricação, transporte e distribuição, uso e reuso, manutenção, reciclagem e disposição final.
- Projeto para o meio Ambiente, ou *Ecodesign*, que consiste no processo de desenhar, projetar um produto ou processo de maneira que este seja menos danoso ao meio ambiente. Pode ser considerado a parte da ACV que objetiva a melhoria do produto.

Estes dois instrumentos de gestão serão vistos com mais detalhes nos Capítulos 5 e 6, respectivamente, deste módulo.

No nível da gestão, P+L implica em mudança de atitudes e comportamentos, de todos os envolvidos no processo, propiciando uma nova cultura empresarial, impactando diretamente na melhoria do desempenho ambiental.

Podemos entender, a partir das definições anteriores, que tanto a Prevenção da Poluição como a Produção mais Limpa pretendem integrar os objetivos ambientais ao processo de produção, a fim de reduzir os resíduos e as emissões em termos de quantidade e toxicidade e, dessa maneira, reduzir custos num processo de melhoria contínua.

Segundo o CNTL*1 (2000), numa análise mais direta pode-se assumir que a gestão convencional de resíduos questiona: **O que se pode fazer com os resíduos sólidos, efluentes e as emissões existentes?** Enquanto que a Produção mais Limpa, proteção ambiental integrada à produção, pergunta: **De onde vêm nossos resíduos sólidos, efluentes e emissões e por que, afinal, se transformaram em resíduos?**

Portanto, podemos concluir que a diferença essencial entre a gestão convencional de resíduos focada em Fim-de-tubo e a Produção mais Limpa (P+L) está no fato de que esta não trata simplesmente dos sintomas tentando atingir a raiz do problema.

Uma característica adicional que pode ser salientada é que P+L propõe uma visão integrada da empresa. Isso significa considerar que matérias-primas, energia, produtos, resíduos sólidos e emissões estão intimamente interligados com água, ar, solo, via processo de produção, não obstante o fato de estes fatores serem tratados de forma separada na legislação.

A Tabela 4.1 a seguir relaciona diferenças entre Tecnologias Fim-de-tubo e Produção mais Limpa.

TECNOLOGIAS FIM-DE-TUBO	PRODUÇÃO MAIS LIMPA
Como se pode tratar os resíduos e as emissões existentes?	De onde vêm os resíduos e as emissões?
... pretende reação.	... pretende ação.
... geralmente leva a custos adicionais.	... pode ajudar a reduzir custos.
Os resíduos e emissões limitados através de filtros e capítulos de tratamento; Soluções de Fim-de-tubo; Tecnologia de reparo; Estocagem de resíduos.	Prevenção de resíduos e emissões na fonte; Evita processos e materiais potencialmente tóxicos.
Proteção ambiental entra depois do desenvolvimento de produtos e processos.	Proteção ambiental entra como parte integral do <i>design</i> do produto e da engenharia de processo.
Problemas ambientais resolvidos a partir de um ponto de vista tecnológico.	Tenta-se resolver os problemas ambientais em todos os níveis/em todos os campos.
Proteção ambiental é um assunto para especialistas competentes.	Proteção ambiental é tarefa de todos.

... é trazida de fora.	... é uma inovação desenvolvida na empresa.
... aumenta o consumo de material e energia.	... reduz o consumo de material e energia.
Complexidade e riscos aumentados.	Riscos reduzidos e transparência aumentada.
Proteção ambiental desce para preenchimento de prescrições legais.	Riscos reduzidos e transparência aumentada.
... resultado de um paradigma de produção do tempo em que os problemas ambientais não eram conhecidos.	... abordagem que pretende criar técnicas de produção para um desenvolvimento sustentável.

Fonte: CNTL*5, 2000.

TABELA 4.1 – DIFERENÇAS ENTRE TECNOLOGIAS FIM-DE-TUBO E PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Podemos considerar ainda que a Prevenção da Poluição/Produção mais Limpa, quando comparada às Tecnologias Fim-de-tubo (focadas no tratamento e/ou disposição de resíduos) apresenta várias vantagens:

- potencial para soluções econômicas na redução da quantidade de materiais e energia usados;
- indução a um processo de inovação dentro da empresa, devido a uma intensa avaliação do processo de produção, à minimização de resíduos, efluentes e emissões;
- redução dos riscos no campo das obrigações ambientais e da disposição de resíduos devido ao fato de que a responsabilidade pode ser assumida para o processo de produção como um todo;
- facilitação do caminho em direção a um desenvolvimento econômico mais sustentado.

O conceito de Produção mais Limpa, adotado pela *UNIDO/UNEP*, tem como base o programa Ecoprofit – Ecological Project For Integrated Environmental Technologies (Projeto Ecológico para Tecnologias Ambientais Integradas), que visa fortalecer economicamente a indústria através da Prevenção da Poluição, inspirado no desejo de contribuir com a melhoria da situação ambiental de uma região.

Baseado em problemas ambientais conhecidos, o Ecoprofit investiga o processo de produção e as demais atividades de uma empresa, e os estuda do ponto de vista da utilização de materiais e energia. Essa abordagem ajuda a induzir inovação dentro das próprias empresas, a fim de trazer a estas, e a toda a região, um passo em direção a um desenvolvimento econômico sustentado.

A partir disso, são criteriosamente estudados os produtos, as tecnologias e os materiais, a fim de minimizar as emissões e os resíduos e encontrar modos de reutilizar os resíduos inevitáveis. Nesse sentido, o Ecoprofit não representa uma solução para um problema isolado, mas uma ferramenta lucrativa para estabelecer um conceito holístico.

O prefixo “eco” da palavra Ecoprofit tem um significado triplo, nomeadamente:

- benefício ecológico;
- benefício econômico;
- em alusão ao significado etimológico da palavra grega *oikos* – casa, evoca a proposta de encontrar soluções para a manutenção da casa – *housekeeping*.

Nesse contexto, o sucesso da implantação de um programa baseado no Ecoprofit depende do nível de comprometimento dos empregados, tendo em vista que o *know-how*, ou seja, o conhecimento que estes detêm sobre o processo produtivo, é essencial para identificar as situações-problema e propor alternativas que resultem numa melhoria do desempenho ambiental da empresa. Desse ponto de vista, o Ecoprofit tem, acima de tudo, o propósito de ser um auxílio em direção à auto-ajuda.

4.4 METODOLOGIA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA DESENVOLVIDA PELA UNIDO/UNEP

“Em 1998 a UNEP lançou, em solenidade realizada na Coreia, a **Declaração Internacional Sobre Produção Mais Limpa**, que é um comprometimento público para a estratégia e prática da Produção mais Limpa. A declaração é um conjunto de princípios que, quando implementados, leva ao aumento da conscientização, compreensão e finalmente a uma maior demanda por Produção mais Limpa. Para os que advogam a Produção mais Limpa é uma ferramenta para encorajar os governos, empresas e organizações a adotar e promover aquela estratégia.” (Prestrelo et al., 2000)

DECLARAÇÃO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO MAIS LIMPA	
Nós reconhecemos que obter o desenvolvimento sustentável é uma responsabilidade coletiva. Ações para proteger o meio ambiente global devem incluir a adoção de práticas de consumo e de produção sustentáveis melhoradas. Nós acreditamos que a Produção mais Limpa e outras estratégias preventivas como Eco-eficiência, produtividade verde e Prevenção da Poluição são as opções preferidas. Elas requerem desenvolvimento de apoio e medidas apropriadas: Com esta finalidade, nós estamos comprometidos a:	
LIDERANÇA	Usar nossa influência:
	• Para encorajar a adoção de práticas de produção e consumo sustentáveis através do nosso relacionamento com as partes interessadas.
CONSCIENTIZAÇÃO EDUCAÇÃO E TREINAMENTO	Construir capacidades/capacitações:
	• Pelo desenvolvimento e condução de programas de conscientização, educação e treinamento dentro da nossa organização. • Pelo encorajamento da inclusão dos conceitos e princípios nos currículos educacionais em todos os níveis.
INTEGRAÇÃO	Encorajar a integração de estratégias preventivas:
	• Em todos os níveis da organização. • Dentro dos sistemas de gestão ambiental. • Pelo uso de ferramentas, tais como avaliação de desempenho ambiental, contabilidade ambiental, impacto ambiental, ciclo de vida e avaliações de produção mais limpa.

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO	Criar soluções inovadoras:
	• Pela promoção de uma mudança de prioridade da estratégia de Fim-de-tubo para preventiva, em nossas políticas e atividades de pesquisa e desenvolvimento. • Pelo apoio ao desenvolvimento de produtos e serviços que são ambientalmente eficientes e atendimento às necessidades dos consumidores.
COMUNICAÇÃO	Compartilhar nossas experiências:
	• Pelo reforço ao diálogo sobre a implementação de estratégias preventivas e informação às partes interessadas externas sobre os seus benefícios.
IMPLEMENTAÇÃO	Tomar ações para adotar a Produção mais Limpa:
	• Pelo estabelecimento de metas desafiadoras e o relato regular do progresso através de sistemas de gestão existentes. • Pelo encorajamento de novos e adicionais financiamentos e investimentos em opções por tecnologias preventivas, e promoção de cooperação e transferência de tecnologias ambientalmente adequadas entre países. • Através da cooperação com a UNEP e outros parceiros e partes interessadas no apoio a esta declaração e na análise crítica do sucesso de sua implementação.

Fonte: Prestrelo et al. (2000), traduzido do site da UNEP (2001).

A metodologia de Produção mais Limpa é o resultado de um esforço conjunto da UNIDO (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial) e da UNEP (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente), tendo sido desenvolvida com base no estado-da-arte do conhecimento europeu sobre gestão de resíduos e desperdícios energéticos e materiais.

A estratégia adotada para disseminar a metodologia no mundo foi implantar Centros Nacionais de Tecnologias Limpas – CNTLs, envolvendo como parceiros um país chamado “donante” (Holanda, Alemanha, Suíça e Áustria), responsável pelo suporte técnico/financeiro, e um “hospedeiro” (países sub e semidesenvolvidos no mundo) a serem beneficiados pelo programa. (Ver Figura 4.1)



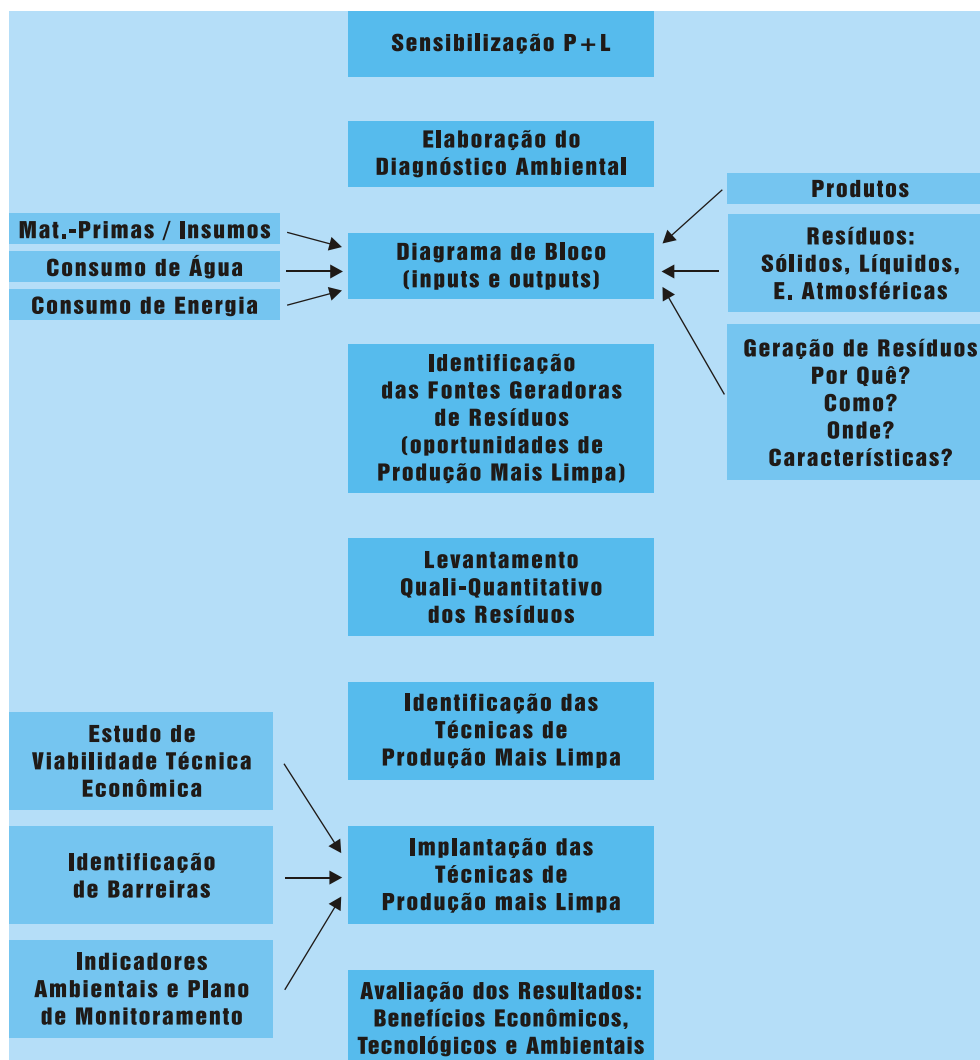
Fonte: CNTL*1, 2000.

FIGURA 4.1 – PAÍSES “HOSPEDEIROS” DOS CENTROS NACIONAIS DE TECNOLOGIAS LIMPAS

A instalação de um CNTL no Brasil, no entanto, não contou com a parceria de um país “donante”, tendo esta iniciativa contado com o suporte técnico/financeiro do SENAI, com o compromisso de atuar como agente disseminador da metodologia junto ao parque industrial brasileiro. Atualmente, o CNTL-SENAI/RS desenvolve programas de P+L também em instituições e empresas de outros países, como Paraguai, Equador e Moçambique.

A implantação do Programa de Produção mais Limpa (P+L) numa empresa, com base na metodologia desenvolvida pela UNIDO, consiste na avaliação do processo produtivo, seja qual for a natureza, e na aplicação de técnicas que possam envolver desde a mudança de matéria-prima/insumo, consumo de água e de energia, tecnologia/processo, procedimento operacional, até mesmo a mudança do próprio produto, que pode ser considerado ambientalmente incorreto nos moldes do apresentado no item 3.2 do capítulo anterior.

O processo de implantação de P+L, segundo a metodologia da UNIDO, segue o fluxo apresentado na Figura 4.2:



Fonte: CNTL *1, 2000.

FIGURA 4.2 – FLUXOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA – METODOLOGIA UNIDO/UNEP

Analisando o fluxograma de implantação de P+L representado na Figura 4.2, podemos dizer que a primeira etapa, a implantação de um programa de Produção mais Limpa, envolve:

- realização de processo de sensibilização dos funcionários, através da apresentação das vantagens de se implantar P+L na empresa;
- elaboração de diagnóstico ambiental que funciona como um raio-X da empresa apresentando os principais problemas;
- construção de um diagrama de bloco do fluxo do processo produtivo (Figura 4.3) e análise dos *inputs* (entradas: matérias-primas/insumos) e *outputs* (saídas: produtos, resíduos sólidos, líquidos e emissões atmosféricas).

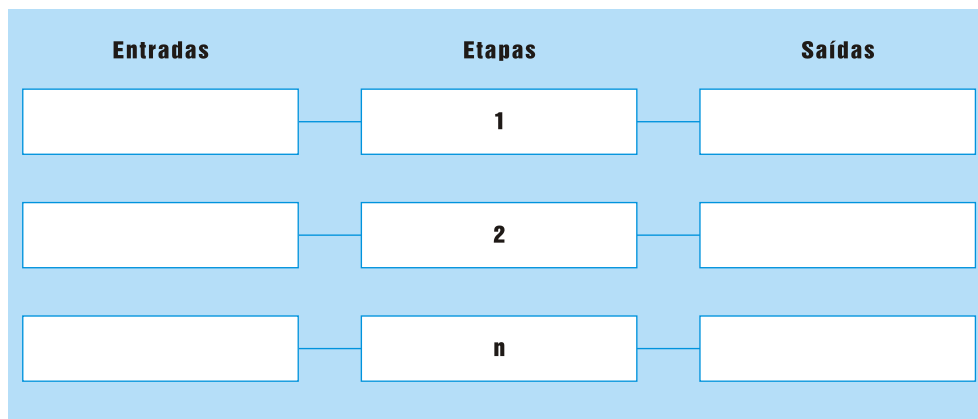


FIGURA 4.3 – DIAGRAMA DE BLOCO

Numa segunda etapa, o processo de implantação de P+L na empresa envolve:

- identificação das fontes geradoras de resíduos que possam ser tratadas como oportunidades de Produção mais Limpa;
- levantamento quali-quantitativo dos resíduos para identificação;
- identificação das técnicas aplicáveis e das barreiras que se apresentam à implantação destas;
- definição de indicadores de maneira a possibilitar uma avaliação do desempenho ambiental da empresa. Esses indicadores devem ser criados com base nas metas de redução a serem atingidas. Exemplos:
 - consumo de água/tonelada de produto produzido/ano;
 - consumo de energia – kWh/tonelada de produto produzido/ano;
 - tonelada de um resíduo X gerada/tonelada de produto produzido/ano;

- estruturação de um plano de monitoramento para facilitar a implementação de ações corretivas. No caso, por exemplo, de uma ação que consista em realizar medições, este plano deve conter informações do tipo: objetivo da medida, responsável pela medição, intervalos, periodicidade, estratégia de medição;
- realização de estudo de viabilidade econômica das alternativas de técnicas de Produção mais Limpa que é feito visando balizar o processo de decisão.

É importante colocar que o processo de sensibilização em conjunto com os resultados gerados deve fazer com que a empresa que adota o programa P+L perceba claramente que este torna o processo produtivo mais eficiente no emprego de matérias-primas e insumos, gerando mais produtos e menos resíduos, trazendo benefícios tecnológicos, ambientais, econômicos e outros, e contribuindo para a sustentabilidade e o aumento de competitividade.

Aos alunos:

Resíduos: uma vez localizadas as fontes geradoras e levantados qualitativamente e quantitativamente, o que fazer?

Quando perguntado sobre os fatores que influenciam na geração de resíduos e emissões, pode-se pensar primeiro na tecnologia usada na empresa. Certamente esta desempenha um papel importante neste contexto. Mas isso não deve levar à conclusão de que somente as medidas tecnológicas podem ajudar a realizar produção eficiente e limpa.

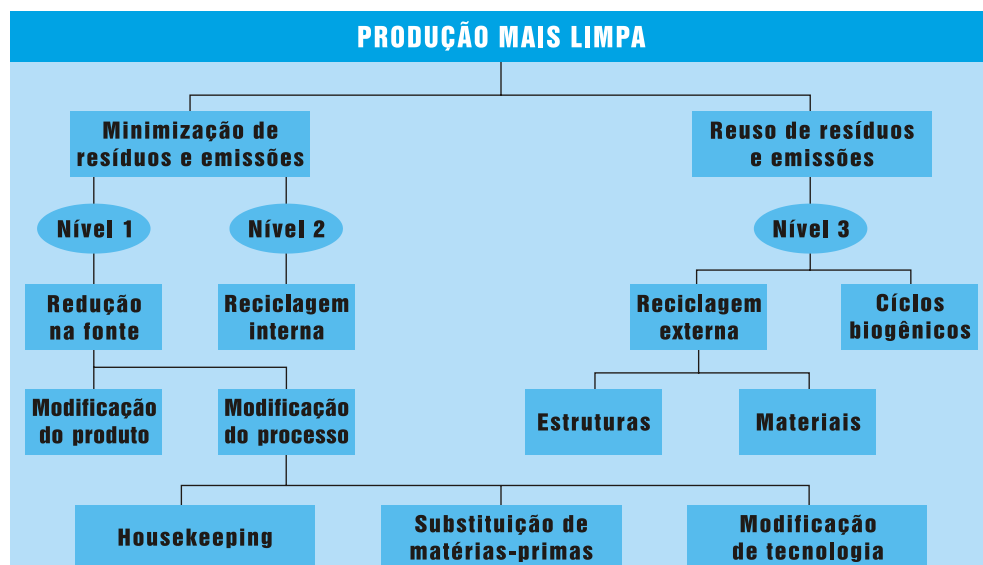
Há uma infinidade de campos que devem ser levados em conta. Os principais aspectos que podem indicar a origem dos resíduos e emissões são os seguintes:

- pessoal (falta de pessoal qualificado);
- tecnologias (uso de tecnologias ultrapassadas);
- matérias-primas (uso de recursos não renováveis e compostos tóxicos);
- produtos (de difícil degradabilidade – pós-uso);
- capital (escassez de recursos financeiros);

- *know-how* do processo (resistência à mudança);
- fornecedores/parceiros comerciais (falta de alinhamento com os princípios de gestão ambiental adotados).

Com base nesses aspectos, é possível utilizar técnicas ou medidas entendidas como de Produção mais Limpa visando à minimização de resíduos. Estas estão agrupadas representando níveis diferenciados de eficiência de aplicação de P+L.

A Figura 4.4 a seguir apresenta estes níveis e constitui um organograma de Produção mais Limpa.



Fonte: CNTL*5, 2000.

FIGURA 4.4 – ORGANOGAMA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

- **Nível 1** – quando são priorizadas medidas para resolver o problema na fonte que consideram para tal, modificações tanto no próprio produto (projeto ecológico, ou *ecodesign*) como no processo de produção (uso cuidadoso de matérias-primas e com o processo, incluindo mudanças organizacionais, substituição de matérias-primas/insumos tóxicas por outras menos agressivas e modificações tecnológicas com adoção de tecnologias limpas).

- Nível 2 (reciclagem interna) – quando não é possível evitar os resíduos com a ajuda das medidas classificadas como de nível 1, estes podem ser reintegrados ao processo de produção da empresa: dentro do próprio processo original de produção, em outro processo, ou através da recuperação parcial de uma substância residual.
- Nível 3 (reciclagem de resíduos e emissões fora da empresa) – através de reciclagem externa ou de uma reintegração ao ciclo biogênico (por exemplo, compostagem).

Aos alunos:

Como norma, você pode ter em mente que, quanto mais próximo à raiz do problema e quanto mais otimizados os ciclos, mais eficientes serão as medidas.

Vale nesse momento ressaltar que a coleta de dados é a base para Produção mais Limpa. Portanto, para assegurar informações que possam fundamentar o processo de implantação do programa P+L, é preciso:

- estabelecer uma visão geral dos principais fluxos de materiais dentro da empresa;
- determinar onde serão coletados os dados (o ideal é considerar a empresa como todo);
- usar uma base de dados atualizada;
- determinar os limites do balanço de massa e energia (o princípio de conservação de massa e energia estabelece que tudo que entra em um processo deve deixá-lo: ou é estocado, ou é transformado em outro material);
- observar os pontos de monitoramento dos recursos materiais (na entrada, ou seja, no momento em que foram adquiridos; no ponto de uso – na máquina, na unidade de produção e no ponto de saída – isto é, no momento em que deixam o processo).

Os dados coletados devem responder às seguintes questões:

- Quanta matéria-prima e auxiliares de processo e quanta energia usamos?
- Quantos resíduos e emissões são produzidos?
- De qual/quais parte(s) do processo eles vêm?
- Que resíduos são prejudiciais/precisam ser controlados e por quê?
- Que porção das matérias-primas e auxiliares de processo se torna resíduo?
- Que porção das matérias-primas e auxiliares de processo se perde na forma de emissões voláteis?
- Quais são os custos incorridos devido à disposição de resíduos e à perda de matérias-primas?

Para facilitar a tarefa de sistematização de informações, são apresentados no anexo deste capítulo exemplos de folhas de trabalho que compõem o **Relatório de Implantação de Produção mais Limpa**:

Folha de trabalho 1: Registro quali-quantitativo dos principais produtos/serviços produzidos. É interessante trabalhar sempre com uma única unidade de medida.

Folha de trabalho 2: Registro dos resíduos e emissões mais importantes, incluindo-se resíduos de água e de ar. Além das quantidades produzidas, há também perguntas sobre custos unitários com compra e disposição, os quais devem ser indicados em unidade monetária por unidade quantitativa. O custo total em unidades monetárias é calculado multiplicando-se o custo unitário pela quantidade.

Folha de trabalho 3: Registro das quantidades de matérias-primas e auxiliares mais importantes do processo. Os custos unitários e totais são de grande interesse, assim como também o objetivo de uso. Recomenda-se determinar o percentual de qualquer matéria-prima usada para a produção. Se não houver dados de medidas disponíveis, deve-se estimar da melhor maneira possível. A matéria-prima/auxiliar considerada como tóxica deve ser identificada.

Folha de trabalho 4: Registro das técnicas de P+L utilizadas para minimizar ou prevenir cada resíduo do processo produtivo. Pode-se gerar folhas separadas para diferentes tipos de resíduos e emissões.

As opções que se apresentam para solução dos problemas devem ser analisadas e selecionadas enfocando a minimização de resíduos e emissões, reuso de resíduos e emissões. Estas opções de soluções denominadas de Técnicas de Produção mais Limpa podem consistir em:

- Mudança de Produto;
- Mudança de Processo;
- Substituição de Matérias-Primas/Insumos;
- Modificação Tecnológica;
- Aplicação de Boas Práticas Operacionais (*Good Housekeeping Practices*);
- Reciclagem Interna e Externa.

Aos alunos:

Tente analisar os resíduos de um processo produtivo e identifique as técnicas de P+L mais adequadas para evitar ou minimizar a geração destes. Não esqueça de considerar os níveis de aplicação de P+L apresentados na Figura 4.4. Uma revisão do Capítulo 3 deste módulo poderá ajudar nessa tarefa.

Folha de trabalho 5: Registro dos resíduos por categoria. Resíduos e emissões podem ter origem em diferentes matérias-primas por diferentes razões. Se for estabelecida uma lista de origens possíveis, os resíduos e as emissões poderão ser classificados de acordo com estas.

A Tabela 4.3, incluída no anexo deste capítulo, contém 11 categorias, para as quais podem ser aplicadas várias estratégias com o objetivo de evitar ou minimizar resíduos e emissões. Essa tabela pode ser usada para ajudar no preenchimento da folha de trabalho 5.

Registrados os dados requeridos nas folhas de trabalho é feito um estudo de viabilidade econômica das ações propostas para minimizar resíduos, a fim de se balizar o processo de decisão em relação à medida a ser adotada.

No fechamento do Relatório de Implantação de Produção mais Limpa é fundamental também fazer a análise quali-quantitativa dos benefícios obtidos com o programa. A exemplo de:

- Benefícios ambientais – % de redução de: resíduos sólidos, emissões atmosféricas e efluentes líquidos.
- Benefícios econômicos – % de redução de custos com tratamento de: resíduos sólidos, efluentes líquidos; emissões atmosféricas, consumo de energia elétrica e água.
- Benefícios tecnológicos – adoção de tecnologias limpas, *upgrade* de equipamentos diversos.
- Benefícios na saúde ocupacional – % de redução no índice de doenças ocupacionais.
- Benefícios sociais – melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores e de comunidades circunvizinhas.

Vale ressaltar a importância de se manter um registro fotográfico de situações na empresa antes e depois da Produção mais Limpa, para efeitos comparativos e estimuladores no processo de implantação de P+L.

Todas as fases da implantação do programa só podem ser realizadas com o total envolvimento e comprometimento principalmente da alta gestão, a fim de garantir a introdução e internalização do conceito e prática de Produção mais Limpa na cultura da empresa, impactando diretamente no gerenciamento ambiental.

Nesse sentido, a metodologia orienta para que seja formado um grupo de trabalho Ecotime para coordenar as ações de implementação envolvendo trabalhadores da empresa com as seguintes características:

- liderança;
- motivação;
- representatividade;
- envolvimento com a equipe de trabalho;

136 ■ Prevenção da Poluição

- responsabilidade;
- autoridade.

O papel do Ecotime deve ser:

- coletar e analisar as informações de consumo e geração de resíduos;
- levantar as atuais práticas e procedimentos da planta industrial;
- estabelecer e avaliar novas oportunidades;
- implementar e dar continuidade às ações;
- multiplicar os conhecimentos adquiridos.

Aos alunos:

Organize um treinamento de P+L para o Ecotime, antes de iniciar a implementação do programa numa empresa.

4.5 OUTRAS METODOLOGIAS

Além da metodologia da UNIDO/UNEP, outras foram desenvolvidas com foco na minimização de resíduos e na Prevenção da Poluição visando dar suporte no processo de melhoria de desempenho ambiental nas empresas.

É interessante também colocar que existem propostas que têm a mesma configuração do Sistema de Gestão Ambiental (SGA), baseado na norma internacional ISO 14001 – Diretrizes para Implantação de SGA.

A norma ISO 14001, uma vez implantada na empresa, possibilita a sistematização de informações sobre os impactos ambientais provocados pela atividade produtiva, assim como também a ação de gestão sobre estes. Consiste num processo de melhoria contínua desenvolvido em cinco etapas: Definição de Política Ambiental, Planejamento de Atividades, Implementação e Operação, Verificação e Ação Corretiva, Análise Crítica pela Administração.

Como exemplo de outras metodologias de P+L que têm a mesma configuração do SGA, podemos citar o programa de Prevenção da Poluição (PP) do Ministério do Meio Ambiente e de Energia da Província de Ontário, Canadá, cujo escopo consiste em:

- Definição de Política Ambiental baseada no princípio de Prevenção da Poluição.
- Elaboração de Plano de Ação adequado com os objetivos propostos na Política Ambiental.
- Formação de EQA – Equipe de Qualidade Ambiental.
- Avaliação preliminar para coleta de informações: regulamentação, processos, matérias-primas/insumos, problemas ambientais, etc.
- Levantamento quali-quantitativo dos problemas ambientais e priorização. Os métodos propostos para realização desta etapa do programa são:
 - Descrição semiquantitativa do processo: avaliação focada em dados qualitativos, não indicando quantidade de resíduo gerado e matéria-prima/insumo.
 - Análise de um processo: exame do processo de produção antes da PP e comparação com as mudanças ocorridas depois da PP.
 - Análise de projeto: foco nos resultados obtidos de cada atividade proposta no Programa PP: mudança de quantidades de compostos tóxicos, na toxicidade das substâncias, resultados econômicos, etc.
- Estabelecimento de procedimentos de comunicação com as partes interessadas.
- Identificação de barreiras potenciais técnicas, econômicas, regulamentares e institucionais.
- Desenvolvimento de Plano de Emergência.

Comparando o instrumento SGA, baseado na norma ISO 14001, com as metodologias desenvolvidas pela UNIDO/UNEP e pelo Ministério do Meio Ambiente e de Energia da Província de Ontário, podemos dizer que a empresa que opta pela implantação do SGA baseado na norma internacional ISO 14001, após a implementação de todas estas etapas, pode solicitar de uma instituição credenciada uma auditoria para verificar se

todos os itens exigidos pela norma foram cumpridos e, assim sendo, obter a certificação ambiental da empresa.

As metodologias da UNIDO/UNEP e do Programa de Prevenção da Poluição do Ministério do Meio Ambiente e de Energia da Província de Ontário, não visam à certificação ambiental.

4.6 PRODUÇÃO MAIS LIMPA COMO INSTRUMENTO DE MARKETING

Podemos dizer que a Produção mais Limpa provoca uma mudança de cultura organizacional, de forma a atender aos requisitos ambientais e de mercado no sentido da minimização de resíduos. Trata-se, portanto, de um programa que contempla os aspectos qualitativos e quantitativos de melhoria dos produtos, serviços e seus efeitos ao meio ambiente e à qualidade de vida das pessoas.

Como vimos anteriormente, a implantação de um programa de Produção mais Limpa numa empresa é reconhecida como uma prática de gestão ambiental de grande eficácia; no entanto, não visa à certificação. O grande diferencial desse programa está no fato de que este tem foco na melhoria do desempenho ambiental e normalmente requer menos investimentos que outros instrumentos de gestão ambiental.

Os resultados obtidos pelo CNTL-SENAI/RS na implantação de P+L em várias empresas no Brasil encontram-se disponíveis no *site* <http://www.rs.senai.br/cntl>.

A implantação do programa P+L pode ser também uma opção bastante interessante para as micro, pequenas e médias empresas, que normalmente dispõem de poucos recursos, principalmente financeiros e humanos.

Existem, no entanto, algumas barreiras para a implantação de P+L que precisam ser vencidas:

- Parâmetros legais: a empresa pode limitar o seu desempenho ambiental em função do atendimento ao requisito legal, consolidando uma ação reativa, impedindo, assim, o processo de melhoria contínua.

- Barreiras econômicas: algumas medidas para solucionar problemas ambientais podem requerer investimentos financeiros, e a empresa pode não dispor destes.
- Falta de informações sobre as vantagens da Produção mais Limpa: as empresas não têm a cultura de quantificar os custos ambientais associados ao processo produtivo para determinar quanto isso representa no preço do produto.
- Barreiras comportamentais: a metodologia P+L, desenvolvida pela UNIDO, é baseada na coleta de dados através de medições, e há muita resistência na realização desta tarefa.
- Falta de integração entre os diversos setores de uma empresa, em relação aos seus problemas ambientais e de produção: os setores das empresas atuam normalmente de forma dissociada, o que dificulta a visão integrada do processo produtivo.
- Busca de qualidade sem passar pela Produção mais Limpa: as empresas ainda não têm a cultura nem a prática de associar o conceito de qualidade do produto/processo ao impacto causado no meio ambiente.
- Busca da tecnologia limpa diretamente, sem passar pela Produção mais Limpa: a Tecnologia Limpa é uma alternativa de Produção mais Limpa que exige normalmente investimentos financeiros maiores. Quando temos a oportunidade de avaliar melhor o processo produtivo, sob a ótica de P+L, podemos identificar outras alternativas que podem contribuir para a melhoria do desempenho ambiental com menores investimentos, ou até mesmo nenhum.

As vantagens de se implantar o programa de Produção mais Limpa numa empresa utilizando esta metodologia, por sua vez, são inúmeras:

- Disponibiliza uma metodologia que representa o passo a passo para a implementação de P+L.
- Não requer custos adicionais com certificações e desenvolvimento de modelos mais sofisticados de sistematização de informações.
- Aumenta a eficiência do processo produtivo.
- Minimiza o impacto ambiental decorrente da atividade produtiva.

- Orienta na adoção de medidas que, mesmo quando envolvem custos, podem apresentar o período de retorno baixo. Vale salientar que normalmente não existe período de retorno em investimentos de fim-de-tubo.
- Facilita o processo de decisão em relação a quanto a empresa deseja investir na gestão ambiental, pois fornece dados para avaliação.
- Proporciona melhoria de imagem da empresa diante da sociedade e aumento da competitividade no mercado globalizado.
- Evita custos crescentes devido ao tratamento de resíduos.
- Apresenta menor suscetibilidade às condições que impactam no desempenho da empresa: necessidade crescente de espaço para disposição de resíduos, dificuldades na obtenção de licenças para exportação, passivos ambientais, produtos/processos considerados ambientalmente incorretos, etc.

Enfim, um argumento muito forte que sensibiliza o empresário para implantar um programa de Produção mais Limpa está representado pela Figura 4.5. É preciso deixar claro que a geração de resíduos impacta diretamente tanto o desempenho ambiental da empresa como o financeiro, diminuindo a sua competitividade.



FIGURA 4.5 – POR QUE FAZER UM PROGRAMA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA?

Aos alunos:

Tente preparar um material para ser utilizado num processo de sensibilização de uma empresa para adoção de P+L. Não esqueça de analisar as barreiras primeiro!

**4.7 O SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL (SGA) BASEADO NA
NORMA INTERNACIONAL ISO 14001 E A PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L)**

Atualmente, as empresas estão sendo mobilizadas para uma corrida em busca da certificação de **Sistema de Gestão Ambiental (SGA)**, com o objetivo de demonstrar que seus processos, produtos e serviços estão em conformidade com as normas ambientais internacionalmente aceitas.

A adoção desses instrumentos é voluntária, mas talvez o grande elemento motivador da busca pela certificação seja a existência de barreiras mercadológicas não tarifárias, impostas por países desenvolvidos, à aceitação de produtos/processos considerados ambientalmente inadequados.

A série ISO 14000, da Organização Internacional de Padronização, é uma resposta a esta demanda e consiste num conjunto de normas técnicas que orienta como implantar um SGA numa empresa, de maneira a se obter um certificado que ateste a conformidade do sistema à norma.

O importante, no entanto, é considerar este momento, como uma oportunidade para melhorar efetivamente o desempenho ambiental das empresas.

Que tal conhecer um pouco mais sobre o SGA?

Para que uma empresa tenha um SGA, segundo a norma ISO 14001, que é a norma da série ISO 14000 que orienta especificamente como implantar um SGA, esta precisa ter realizado as seguintes etapas:

1. **Definição da Política Ambiental**, em que a alta direção da empresa expressa e formaliza o pensamento, a visão e o comprometimento da empresa com o meio ambiente. Segundo a norma, a política ambiental constitui “declaração dos princípios e intenções da empresa em relação ao seu desempenho ambiental e que devem nortear o planejamento de ações e o estabelecimento de seus objetivos e metas ambientais”.
2. **Planejamento**, constando os procedimentos de identificação dos principais impactos ambientais causados pela atividade produtiva da empresa e o estabelecimento de objetivos e metas a serem alcançados, de maneira a solucionar os problemas ambientais levantados.
3. **Implementação e Operação**, consistindo na definição de toda a estrutura básica necessária para alcançar os objetivos e as metas ambientais, tais como: recursos físicos, materiais e humanos, levantamentos de necessidades de treinamentos, estabelecimento de responsabilidades, procedimentos de documentação e comunicação, controle e operação para situações de emergências.
4. **Verificação e Ações Corretivas do Sistema**, com a finalidade de checar e adequar o SGA implantado à política ambiental da empresa e também aos objetivos e metas ambientais definidos. O mecanismo empregado é a auditoria interna, a qual consiste na avaliação sistemática documentada, periódica e objetiva do desempenho ambiental da empresa através do seu SGA. Esta é realizada pelos próprios empregados, devidamente treinados.
5. **Análise Crítica pela Alta Administração**, com a finalidade de identificar novos objetivos e metas ambientais a serem alcançados, visando à **melhoria contínua** do sistema.

Apresentamos as etapas de implantação da norma ISO 14001 de forma sucinta, pois não é objeto deste capítulo detalhar o SGA, mas, sim, exercitar a capacidade crítica dos instrumentos de gestão ambiental disponíveis.

Se você tiver interesse em conhecer mais sobre o SGA, consulte o módulo de Sistemas de Gestão Ambiental produzido pelo SENAI, para atender ao Programa TGA – Tecnologias e Gestão Ambiental do SENAI/DN.

Aí está o ciclo de implantação de um SGA, baseado na norma ISO 14001!



FIGURA 4.6 – CICLO DE IMPLANTAÇÃO DE UM SGA

Ao realizar todas essas etapas, a empresa pode solicitar de uma instituição credenciada uma auditoria para verificar se todos os itens exigidos pela norma foram cumpridos e, assim sendo, obter a certificação ambiental da empresa.

É interessante salientar mais uma vez que os certificados ambientais apenas significam que estas empresas têm um sistema que possibilita sistematizar informações sobre os impactos ambientais provocados pela atividade produtiva e que há uma gestão sobre estes. Assim, podemos concluir que o fato de uma empresa ter um sistema de gestão formal não quer dizer que ela é ambientalmente mais correta que outra que não tem o certificado.

Existem alguns pontos, no entanto, que podem gerar interpretações errôneas quanto ao objeto de certificação e ao significado do certificado propriamente dito:

- princípios norteadores mal definidos e que podem orientar a empresa a adotar uma postura de fim-de-tubo não ambientalmente correta;

Segundo Prestrelo et al. (2000), a ISO 14001 no seu item 3.13 define a Prevenção da Poluição como:

“**3.13 Prevenção da Poluição:** uso de processos, práticas, materiais ou produtos que evitem, reduzam **ou controlem a poluição**, os quais podem incluir reciclagem, tratamento, mudanças no processo, **mecanismos de controle**, uso eficiente de recursos e substituição de materiais.”

NOTA

“Os benefícios potenciais da Prevenção da Poluição incluem a redução de impactos ambientais adversos, a melhoria da eficiência e a redução de custos.”
(ISO 14001:1996)

Os autores ainda colocam que este conceito de Prevenção da Poluição definido pela ISO não incentiva a inovação pela promoção de uma mudança de prioridade da estratégia de tratamento e controle (fim-de-tubo) para uma estratégia preventiva (atuação na fonte de geração).

- escopo do sistema pode ser limitado apenas a uma unidade do processo produtivo, ou ainda a um setor da organização (na divulgação da certificação esta informação pode não ficar clara);
- desempenho ambiental das empresas não ser o foco da certificação.

Quanto a este último ponto, segundo a ABNT (1996), é possível que duas empresas que desenvolvem atividades similares obtenham o certificado de conformidade emitido pelo mesmo organismo certificador, tendo, no entanto, níveis de adequação e/ou desempenho ambiental bastante diferentes. (Magnani, UFRJ, 1999)

Para entender melhor esta questão, é preciso perceber como a dimensão ambiental é vista pelas empresas e qual a estratégia de gestão adotada. A proposta de minimização de resíduos em processos produtivos, por exemplo, está diretamente associada à tecnologia do processo e à forma como as operações são executadas. Espera-se que estes condicionantes evoluam continuamente para opções cada vez mais adequadas em termos ambientais, as chamadas técnicas de redução da poluição, também conhecidas como Tecnologias Limpas.

As técnicas de redução da poluição utilizadas num processo produtivo, vistas no Capítulo 3 deste módulo, podem, por sua vez, traduzir o tipo de estratégia ambiental adotada (reativa, ofensiva ou inovativa).

A evolução progressiva de uma organização, através da adoção das estratégias ambientais referidas acima, exige em nível operacional que estas sejam traduzidas em procedimentos compatíveis com os princípios básicos de cada estratégia. (Fernandes et al., 2001)

Voltando à norma ISO 14001 de implantação de SGA, podemos dizer que o seu aspecto crítico é exatamente o processo de padronização de procedimentos. Muitas vezes a ânsia de estruturar o sistema impede a análise preliminar destes com a finalidade de verificar a coerência com a estratégia de gestão adotada pela empresa, para a partir daí então decidir se há necessidade ou não de adequação dos mesmos antes da padronização.

O enfoque normalmente dado no processo de implantação da norma, visando à certificação, é priorizar tecnologias de fim-de-tubo já dominadas, assim como também atender à legislação, o que caracteriza o sistema como reativo, mesmo que a atitude de implantar a norma de SGA seja considerada pró-ativa. (Fernandes et al., 2001)

Esta situação pode ser amenizada quando consideramos que o processo pressupõe uma melhoria contínua. Entretanto, quanto mais lento este ocorrer, pior será o problema, pois estes procedimentos inadequados, uma vez padronizados, continuarão a ser adotados porque foram atestados como certos, no sistema. (Fernandes et al., 2001)

O papel dos consultores e de auditores de sistema de gestão ambiental é muito importante para contornar esta situação, pois quando estes têm entendimento das práticas de gestão e tecnologias baseadas no princípio da Prevenção da Poluição, podem contribuir para orientar a empresa a contemplá-las no sistema de gestão ambiental.

Além disso, Prestrelo et al. (2000) reforçam a importância de se estimular as empresas que adotam a estratégia de certificação a incorporar outros compromissos, a exemplo de **Atuação Responsável** (ABIQUIM) e **Declaração Internacional sobre P+L** (UNEP), que, uma vez assinados, tornam-se objeto de avaliação/verificação do seu cumprimento nas auditorias, pois torna-se “**outros requisitos legais**” (itens 4.3.2 e 4.5.1 da norma).

Quando fazemos uma análise comparativa do SGA baseado na norma ISO 14001 com a Produção mais Limpa (P+L), podemos salientar nesse momento que esta última estabelece o princípio de Prevenção da Poluição claramente e, além disso, concentra esforços na identificação das causas geradoras dos problemas ambientais, priorizando a identificação de medidas que efetivamente resultem na minimização de resíduos e, conseqüentemente, na melhoria do desempenho ambiental.

Dessa forma, P+L é um instrumento de gestão aplicável tanto em empresas certificadas que têm a intenção de focar mais na direção da minimização de resíduos como nas que não têm interesse pela certificação, mas que desejam melhorar o desempenho ambiental.

Vale salientar, no entanto, que, segundo Prestrelo et al. (2000), alguns aspectos da Produção mais Limpa podem ser entendidos como pontos fracos, como por exemplo a falta de uma diretriz para definição da estrutura organizacional com as devidas responsabilidades; a estratégia adotada de formação de Ecotime para implantar P+L que pode não estimular o envolvimento de toda a empresa; a não-contemplação do plano de atendimento a emergências/contingências, para os casos de derramamentos/vazamentos, incêndios/explosões, etc.; a falta de mecanismo que divulgue os compromissos do programa P+L; e a não-avaliação periódica dos resultados do programa por instituições auditoras, para manter o estímulo à continuidade e melhoria.

Podemos dizer que o importante nesse processo de avaliação de instrumentos de gestão é entender as limitações de cada um e identificar alternativas para cobrir a lacuna existente, de maneira a se atingir o objetivo maior de um programa de gestão ambiental, que deve ser o de melhoria do desempenho ambiental com enfoque em ações integradas de Prevenção da Poluição, visando a uma Produção mais Limpa. Isso quer dizer que na verdade podemos adotar vários instrumentos de forma complementar num sistema de Gestão Ambiental, desde que estes não sejam conflitantes.

Tendo em vista as considerações feitas anteriormente, acreditamos que a utilização de instrumentos de gestão, de maneira geral, traz benefícios para os processos produtivos, pois normalmente estes estão embasados em metodologias conhecidas internacionalmente que sistematizam as informações e facilitam o levantamento, a leitura e a interpretação de dados, subsidiando a tomada de decisão quanto à postura a ser adotada diante das questões ambientais.

O quadro a seguir pode contribuir para orientar o processo de inserção de P+L em Sistema de Gestão Ambiental (SGA) baseado na norma ISO 14001.

REQUISITO DA NORMA ISO 14001	ÊNFASE/ABORDAGEM PRINCIPAL
4.2 Política ambiental	Compromisso com a P+L na forma de Prevenção da Poluição
4.3.1 Aspectos ambientais	Levantamento de aspectos e avaliação de impactos usando a oportunidade de P+L como um filtro de significância
4.3.3 Objetivos e metas 4.3.4 Programas de gestão ambiental	Objetivos e metas viabilizados com projetos que tenham enfoque em P+L
4.4.1 Estrutura e responsabilidade	Recursos para implantação de tais projetos
4.4.2 Treinamento, conscientização e competência	Conscientização, capacitação em metodologias, conceito e tecnologia para levar a cabo projetos de P+L
4.4.6 Controle operacional	Atividades envolvidas identificadas como oportunidades de P+L e planejadas e procedimentadas para dar sustentação às atividades dos projetos implantados
4.5.1 Monitoramento e medição	Criação de indicadores e monitoramento dos resultados e parâmetros relativos aos projetos e como consequência dos objetivos e metas a serem atingidos
4.5.4 Auditorias internas do SGA	Verificação independente sobre o andamento das providências de P+L
4.6 Análise crítica pela administração	Balanco semestral/anual com a inclusão dos resultados e proposição de melhorias, tendo os projetos de P+L como importante <i>input</i>

Fonte: Prestrelo et al. (2000).

QUADRO 4.2 – RESUMO DA PROPOSTA DE INSERÇÃO DOS CONCEITOS DE P+L NOS REQUISITOS DA ISO 14001

Atualmente as empresas estão caminhando na direção da adoção de um Sistema de Gestão Integrado que possibilite tratar a gestão de forma mais abrangente, envolvendo as questões ambientais, de segurança dos processos e da saúde e bem estar dos trabalhadores e utilizando conceitos/estratégias, técnicas da Produção Mais Limpa ou Prevenção da Poluição e ferramentas como avaliação de desempenho ambiental (prevista nas normas de diretrizes ISO 14031/32 de 1999) e Análise de Ciclo de Vida (prevista nas normas de diretrizes ISO 14040/41/42/43) (Prestrelo et al., 2000).

4.8 A ÉTICA NAS ORGANIZAÇÕES

Outro ponto que podemos enfatizar neste capítulo está relacionado à ética organizacional. Neste processo das empresas, de definir qual o caminho a seguir, para atingir o objetivo de tornar o desenvolvimento compatível com o meio ambiente, este pode ser um fator crítico para assegurar a credibilidade da prática adotada.

Utilizar ferramentas de gestão como instrumentos de *marketing* faz parte da regra do jogo no mundo da competitividade e da busca da sustentabilidade. O importante, entretanto, é fazer isso de forma ética, sem manipular e divulgar informações enganosas, mesmo porque, principalmente em questão de meio ambiente, ninguém tem como fugir por muito tempo do impacto de uma postura que não seja em prol do meio ambiente, pois isso está diretamente relacionado com a garantia da nossa sobrevivência na Terra.

Questão para reflexão:

- Você acredita que a ética organizacional é exercida da mesma forma, tanto em países desenvolvidos como em países sub ou em desenvolvimento?

Em Souza (1999), tem-se que é pertinente que em países socialmente mais equilibrados e democráticos o grau de conscientização, a mobilização e a participação popular nas discussões sobre as questões ambientais são incomparáveis com a realidade enfrentada pelos países subdesenvolvidos, predominando nestes últimos um estado crônico de ignorância da população em geral que se reflete em uma postura apática e facilmente manejável pelas mídias de comunicação. Isso nos leva a concluir que nos países desenvolvidos, em razão da pressão da própria sociedade junto às empresas, estas sejam levadas a dar mais atenção à questão da ética.

Vale a pena, no entanto, frisar que, apesar de reconhecermos as dificuldades associadas a fatores históricos e estruturais vivenciadas nos países subdesenvolvidos (incluindo-se neste contexto o Brasil), é preciso entender que todo esforço deve ser empreendido por instituições de ensino, governamentais, entre outras, na divulgação de informações que possam fundamentar o poder de crítica da sociedade, para que o exercício da cidadania ambiental ocorra de maneira mais efetiva, contribuindo dessa maneira como elemento de pressão na defesa do meio ambiente.

A Tabela 4.2 a seguir representa um estudo comparativo entre o SGA baseado na norma ISO 14001 e a Produção mais Limpa – metodologia UNIDO/UNEP.

Aos alunos:

Analise as informações apresentadas e tente enriquecer o estudo comparativo, acrescentando outras diferenças entre os instrumentos de gestão apresentados.

TABELA 4.2 – COMPARAÇÃO ENTRE SGA BASEADO NA ISO 14001 E PRODUÇÃO MAIS LIMPA – METODOLOGIA DESENVOLVIDA PELA UNIDO/UNEP		
Parâmetros / Instrumento de Gestão	SGA baseado na norma ISO 14001	Produção mais Limpa
Princípio	Não definido.	Prevenção da Poluição.
Enfoque	Sistematização de informações referentes aos aspectos do processo produtivo: uso de técnicas em geral que podem minimizar/tratar resíduos.	Identificação da fonte geradora e aplicação de técnicas para a minimização de resíduos. Pode-se fazer uso de técnicas de Fim-de-tubo, tratamento/disposição, mas não é prioridade.
Objeto de Certificação	Sistema de Gestão Ambiental e não o desempenho ambiental.	Não é ainda certificável.
Custos	Associados principalmente à: - elaboração de procedimentos e geração de toda a documentação exigida pela norma ISO 14001; - aplicação de técnicas de minimização/tratamento de resíduos.	Associados à aplicação de medidas de minimização de resíduos.
Instrumento de Marketing	Reconhecido.	Em reconhecimento.

Abrangência	Medidas de caráter sistêmico referentes a: Política ambiental, Comunicação com as partes interessadas, Planos de emergências ambientais, etc. Obs.: O levantamento dos aspectos e impactos ambientais foca os resíduos, mas com uma abrangência menor do que P+L.	Medidas de redução do consumo de energia, matérias-primas/insumos e minimização da geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas.
Visão	Integrada e de melhoria contínua.	Integrada e de melhoria incremental e contínua.
Mecanismo de Revisão	Através de controles operacionais, auditorias e análise crítica, utilizando indicadores na maior parte de caráter administrativo.	Através do acompanhamento dos indicadores ambientais.
Aplicabilidade	Empresas de médio e grande porte.	Todas as empresas, incluindo as micros e pequenas.

Fonte: Construção própria.

FECHAMENTO

Podemos nesse momento tirar algumas conclusões bastante significativas com relação às metodologias de gestão ambiental com enfoque em minimização de resíduos e prevenção da poluição discutidas neste capítulo:

- Os instrumentos de gestão devem estar alicerçados nos três pilares da Ecoeficiência: econômico, ambiental e social.
- Tanto a Prevenção da Poluição como a Produção mais Limpa obedecem ao mesmo princípio norteador de prevenir, a partir da aplicação de técnicas de minimização de resíduos, num processo contínuo que visa prioritariamente identificar as fontes geradoras de resíduos.
- As questões ambientais são objeto de conflitos mercadológicos internacionais, resultando muitas vezes no desenvolvimento de instrumentos que, apesar de contribuírem para a melhoria das condições de vida no mundo, podem constituir barreiras não tarifárias.
- Podemos assumir, como regra geral, que um programa é eficiente quanto à melhoria ambiental se:
 - a quantidade de poluentes é reduzida;
 - os resíduos que não foram eliminados tiveram pelo menos sua carga tóxica reduzida;
 - ocorreu uma redução na utilização de recursos naturais.
- A ética organizacional deve ser trabalhada para que as empresas não utilizem os instrumentos de gestão ambiental como *marketing* enganoso.
- Acrescente aqui as suas conclusões...

ANEXOS

ANEXO 1 – FOLHA DE TRABALHO 1

FOLHA DE TRABALHO Nº 1 – PRINCIPAIS PRODUTOS E/OU SERVIÇOS			
	Empresa:	Redator:	Página:
Nº	Objetivo do produto / serviço	Quantidade por ano	Unidade
1	Cerveja em garrafas, total (64%)	160.000	HI
	das quais: • 85% Märzen • 100% Cerveja especial • 5% Bockbier		
2	Remoção direta do barril, total (26%)	65.000	
3	Enlatada, total (10%)	25.000	HI
4			
5			
6			
7			
8			
9			

Fonte: Manual P+L do CNTL-SENAI/RS

ANEXO 2 – FOLHA DE TRABALHO 2

FOLHA DE TRABALHO Nº 2 – OS PRINCIPAIS RESÍDUOS GERADOS E/OU EMISSÕES						
Empresa:		Redator:			Página:	
Nº	Resíduos/emissões sólidos, líquidos, atmosféricos	Quantidade por ano	Unidade	Custo de compra (R\$)	Custo de disposição (R\$)	Custo total (R\$)
1	Água residual	180.000	m³	6	10	2.880.000
2	Pó de malte	447	t	4.000	?	1.788.000
3	Resíduo de cevada	220	t	4.000	?	880.000
4	Sedimentos	30	t		250	7.500
5	Vidro/vidro quebrado	92	t	2.400	350	253.000
6	Recipientes plásticos	18	t	10.000	2.000	216.000
7	Papelão/papel	35	t	5.000	-	175.000
8	<i>Pallets</i> de madeira	24	t	6.000	40	144.960
9	Filmes plásticos	1,5	t	22.000	4.500	39.750
10	Resíduos industriais	104	t	?	800	83.200
11	Resíduos de manutenção, graxas	200	kg	?	11	2.200
12	Conteúdos do separador de óleo	3.200	kg	?	2,8	8.960
13	Óleo residual recolhido	1.000	kg	50	2	52.000
14	Vernizes residuais recolhidos	50	kg	100	15	5.750
15	Lâmpadas fluorescentes	20	kg	120	12	2.640
16	Acumuladores	25	kg	70	2,8	1.820
17	Gás residual, caldeira a vapor	1.000.000	m³	-	-	-

Fonte: Manual P+L do CNTL-SENAI/RS

ANEXO 3 – FOLHA DE TRABALHO 3

FOLHA DE TRABALHO Nº 3 – AS PRINCIPAIS MATÉRIAS-PRIMAS E AUXILIARES							
Empresa:			Redator:			Página:	
Nº	Material	Quantidade por ano	Unidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	Objetivo	% que participa do produto
1	Cevada crua	4.700	t	3.000	14.100	material básico	60%
2	Rótulos	120.000	Unidade	0,5	60	embalagem	99%
3	Tampas	30.000	Unidade	1	30.000	embalagem	99%
4	Recipientes plásticos	20.000	Unidade	20	40.000	embalagem	99%
5	Garrafas	50.000	Unidade	0,5	5	embalagem	99%
6	Latas	5.000	Unidade	0,2	1	embalagem	99%
7	Água de captação	120.000	m³	4	480	água para fabricação da cerveja e água industrial	21%
8	Água de resfriamento	40.000	m³	4	160.000	resfriamento	-
9	Eletricidade	5.000	MWh	2.150	10.750	total da companhia	-
10	Gasolina	40.000	1	5	200.000	frota de veículos	-

Fonte: Manual P+L do CNTL-SENAI/RS

ANEXO 4 – FOLHA DE TRABALHO 4

FOLHA DE TRABALHO Nº 4 – PREVENÇÃO E MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS E EMISSÕES										
Empresa:		Redator:					Página:			
	RESÍDUOS E/OU EMISSÕES E/OU PROBLEMAS	Efluente	Grãos utilizados (Úmido)	Sedimentos	Vidro-vidro quebrado	Rótulos	Filme plástico	Papelão Papel	Óleo recuperado	Resíduos
	MÉTODO ADOTADO PARA PREVENÇÃO									
1	Modificação do produto			X						
2	Substituição / troca de matérias-primas		X			X	X		X	X
3	Modificação da tecnologia	X	X	X	X		X		X	X
4	Otimização de parâmetros (dosagem controlada, concentração de materiais,...)	X								X
5	Logística de resíduos			X				X		
7	Padronização / Automação	X								
8	Compras melhoradas							X		
9	Reuso, ciclo interno melhorado	X								
10	Reciclagem externa			X	X				X	
11	Compostagem, ciclos biogênicos		X		X					
12	Alterações na sequência de processo	X				X				
13	Material de embalagem retornável					X		X		
14										

Fonte: Manual P+L do CNTL-SENAI/RS

ANEXO 5 – FOLHA DE TRABALHO 5

FOLHA DE TRABALHO Nº 5 – CATEGORIA DE RESÍDUOS GERADOS E EMISSÕES (sólidos, líquidos e atmosféricos)											
Empresa:			Redator:					Página:			
	RESÍDUOS/EMISSIONES	Efluente	Grãos utilizados (Úmido)	Sedimentos	Vidro-vidro quebrado	Rótulos	Filme plástico	Papelão Papel	Óleo recuperado	Resíduos	Energia Óleo
	CATEGORIA										
A	MP não empregada		X							X	X
B	Impurezas na MP		X			X					
C	Subprodutos não desejados			X							
D	Materiais auxiliares utilizados	X		X				X	X	X	X
E	Materiais dos processos de partida e parada	X			X						
F	MP mal-utilizada/refugo	X									
G	Resíduos/materiais de manutenção	X								X	X
H	Materiais de manuseio, estocagem, amostragem, análise, transporte				X					X	
I	Perdas devido a evaporações										
J	Materiais de falhas de processo e vazamentos				X						X
K	Material de embalagem					X	X	X		X	
L											

Fonte: Manual P+L do CNTL-SENAI/RS

ANEXO 6 – TABELA 4.3 – CATEGORIA DE RESÍDUOS

TABELA 4.3 – CATEGORIAS DE RESÍDUOS		
CATEGORIA DE RESÍDUOS	EXEMPLOS	SOLUÇÕES TÍPICAS
A	Matérias-primas não utilizadas	Mudanças tecnológicas, automação, melhor controle operacional, treinamento do pessoal, uso de diferentes matérias-primas, realização de macro e micro medição, melhoria na estocagem, melhoramento na logística
B	Impurezas, substâncias secundárias nas matérias-primas ou subprodutos inevitáveis	Uso de diferentes matérias-primas quanto a fonte e procedência, buscar alternativas de aproveitamento, substituição de fornecedores, buscar redução e segregação na fonte
C	Resíduos e subprodutos não desejados	Reutilização como um nova matéria-prima, melhoria tecnológica, mudanças no processo, mudanças de insumos
D	Materiais auxiliares usados	Reciclagem interna e externa, limpeza e manutenção, checagem de dosagens, modificação do processo
E	Substâncias produzidas na partida ou parada de equipamentos e sistemas	Programação das operações melhorada, treinamento de pessoal, mudança de tecnologia, lotes de produção maiores, reciclagem interna
F	Lotes mal produzidos e refugos	Tecnologia melhorada, treinamento de pessoal, automação, melhoria no sistema de qualidade
G	Resíduos e materiais da manutenção	Programação de manutenção, substituição de agentes de limpeza, modificação dos sistemas de lubrificação, reciclagem interna e externa
H	Materiais de manuseio, estocagem, amostragem, análise, transporte	Logísticas de controle, controle de fontes externas, melhoria de sistemas de amostragem
I	Perdas devido à evaporação	Treinamento de pessoal, uso cuidadoso, busca de diferentes matérias-primas, modificação de tanques e sistemas, modificação da forma de recepção
J	Materiais de distúrbios e vazamentos	Garantia de qualidade, manutenção melhorada, automação, treinamento de pessoal
K	Material de embalagem	Orientações de compra, redução do número de embalagens e de componentes em embalagens, embalagens retornáveis, reciclagem, reutilização

Fonte: Manual P+L do CNTL-SENAI/RS

CAPÍTULO 5

ACV – ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

Clarissa Campos Meira
Asher Kiperstok

Universidade Federal da Bahia • UFBA • MEAU
Universidade Federal da Bahia • UFBA • TECLIM

“ **Guiados por um novo paradigma, os homens de ciência adotam novos instrumentos e orientam seus olhares em novas direções.** ”

T. S. Kuhn

No contexto da Prevenção da Poluição surge a necessidade de instrumentos novos para avaliação do impacto ambiental de produtos que permitam a indicação de medidas que possam agregar valor econômico aos setores produtivos. Deve-se considerar que os instrumentos atualmente utilizados para avaliação de impacto ambiental tendem a induzir a adoção de medidas chamadas de fim-de-tubo que, normalmente, acrescentam custos à produção.

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) é um dos instrumentos que desponta como indispensável para apoiar a implementação de propostas de ecoeficiência. Sua efetiva implementação no futuro dependerá da existência de bancos de dados devidamente aparelhados.

Segundo Chehebe (1998), a Análise de Ciclo de Vida surgiu em 1965, num estudo custeado pela Coca-Cola, para avaliar de forma comparativa os diferentes tipos de embalagens de refrigerantes. O objetivo final do estudo era concluir qual das embalagens tinha a menor carga ambiental associada. O processo de quantificação da utilização de recursos naturais e dos índices de emissão utilizados pela Coca-Cola nesse estudo, inicialmente, tornou-se conhecido como REPA (Resource and Environmental Profile Analysis), e depois evoluiu para o que hoje conhecemos como ACV.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar ao aluno a ferramenta Análise de Ciclo de Vida.
- Avaliar os benefícios associados ao uso da ferramenta.
- Descrever e discutir a metodologia utilizada na aplicação de ACV.

No entanto, muitos autores apontam para a SETAC (Sociedade para Toxicologia e Química Ambiental) como a instituição onde se desenvolveu a metodologia de Análise de Ciclo de Vida. “A definição e descrição de como deve ser feita a Análise de Ciclo de Vida de um produto foi desenvolvida internacionalmente pela Sociedade para Toxicologia e Química Ambiental (...)” (Shen, 1995)

Desde 1989 diversos seminários internacionais têm sido promovidos para consolidar os avanços deste instrumento. Rydberg (1996) faz uma revisão de autores e momentos da evolução da ACV.

A ACV é um instrumento recente e vem melhorando continuamente. Cada vez mais análises com grau de complexidade maior são efetuadas. Segundo comentário dos autores Graedel e Allenby (1995), naquela época as Análises de Ciclo de Vida estavam em sua *infância*, tendo muita coisa mudado de lá para cá. A perspectiva é que pela sua própria essência e pelas tendências econômicas e ambientais do mundo atual os estudos de ACV deverão ter um caráter global.

5.1 O QUE É ACV?

Normalmente quando se quer falar sobre Análise de Ciclo de Vida utiliza-se a sigla ACV. Mas você também pode ouvir por aí:

“Através de uma **LCA** a empresa **Z** constatou que seu produto gera maior impacto ambiental na fase em que ele está sendo utilizado pelo consumidor e não no seu processamento, como se esperava (...)”, ou:

“(...) Fizeram uma **LCA** comparativa de dois produtos e concluíram que, apesar de o produto **X** consumir mais matéria-prima na sua fabricação, a disposição final do produto **Y** contamina o lençol freático com uma substância de difícil tratamento (...)”

Como quase toda a literatura sobre Análise de Ciclo de Vida ainda é em inglês, vocês podem ouvir pessoas se referirem à ACV como LCA, isto é, Life Cycle Analysis.

Segundo a SETAC (Sociedade para Toxicologia e Química Ambiental): “Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é um processo objetivo para avaliar os encargos ambientais associados com um produto, processo ou atividade com base na identificação e quantificação da energia e materiais usados e dos resíduos emitidos para o meio ambiente, de forma a avaliar o impacto do uso desta energia e materiais e as emissões para o meio ambiente, assim como avaliar e implementar oportunidades que redundem em melhorias ambientais. A avaliação inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, englobando a extração e processamento de matérias-primas, fabricação, transporte e distribuição, uso e reuso, manutenção, reciclagem e disposição final.” (Shen, 1995)

Uma ACV aborda os impactos ambientais relativos à saúde humana (ela não envolve análise sobre os recursos humanos, apenas avalia os impactos sobre o homem), aos sistemas ecológicos e depreciação de recursos. A ACV não tem como propósito avaliar os efeitos econômicos ou sociais (Lindfors, 1995).

Dessa forma, saímos dos limites da indústria e fazemos uma análise mais ampla, completa, que nos permitirá identificar onde e em que momento determinado produto representa maior risco ambiental, e desse modo identificamos oportunidades de mudanças que levem a melhorias ambientais. A ACV foi concebida, principalmente, como um instrumento de mudança e não apenas de avaliação.

A frase clássica sobre ACV, que de fato é uma ótima definição do conceito, é: analisar a vida do produto “do berço ao túmulo”, ou, melhor ainda, “do berço à reencarnação”.

Lembrando!

Aliás, os “túmulos” estão ficando realmente saturados!

Há um limite na capacidade de absorção do solo, do ar e da água.

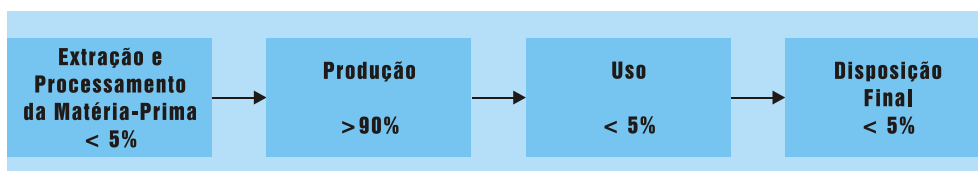
5.2 ALGUNS EXEMPLOS ILUSTRATIVOS

Para esclarecer melhor o conceito, observe os seguintes exemplos:

- Imagine um proprietário de uma rede de *shopping centers* que decida avaliar que contribuições sua empresa pode dar para a preservação do meio ambiente. Após visitar vários de seus *shoppings*, ele percebe que o consumo total de toalhas de papel em todos os banheiros gera um volume considerável de resíduos e decide, então, reduzir esse impacto ambiental.

A solução lhe parece óbvia: retornar ao método convencional e substituir as toalhas de papel por toalhas de pano. Analisando, no entanto, um pouco mais o assunto, ele percebe que ao tomar tal decisão estará, na realidade, simplesmente realizando uma transferência de problema. Reduzirá, sem dúvida, o desperdício de papel nos banheiros, mas fará ao mesmo tempo crescer, através das repetidas lavagens das toalhas de pano, um outro tipo de contaminação: aumentará o consumo de detergentes, de água (O DOBRO!), de energia (30%), a poluição das águas (86%), as emissões atmosféricas (40%) e outros tipos de poluição. Em outras palavras, ele estará transferindo a contaminação de um processo para outro (Chehebe, 1998).

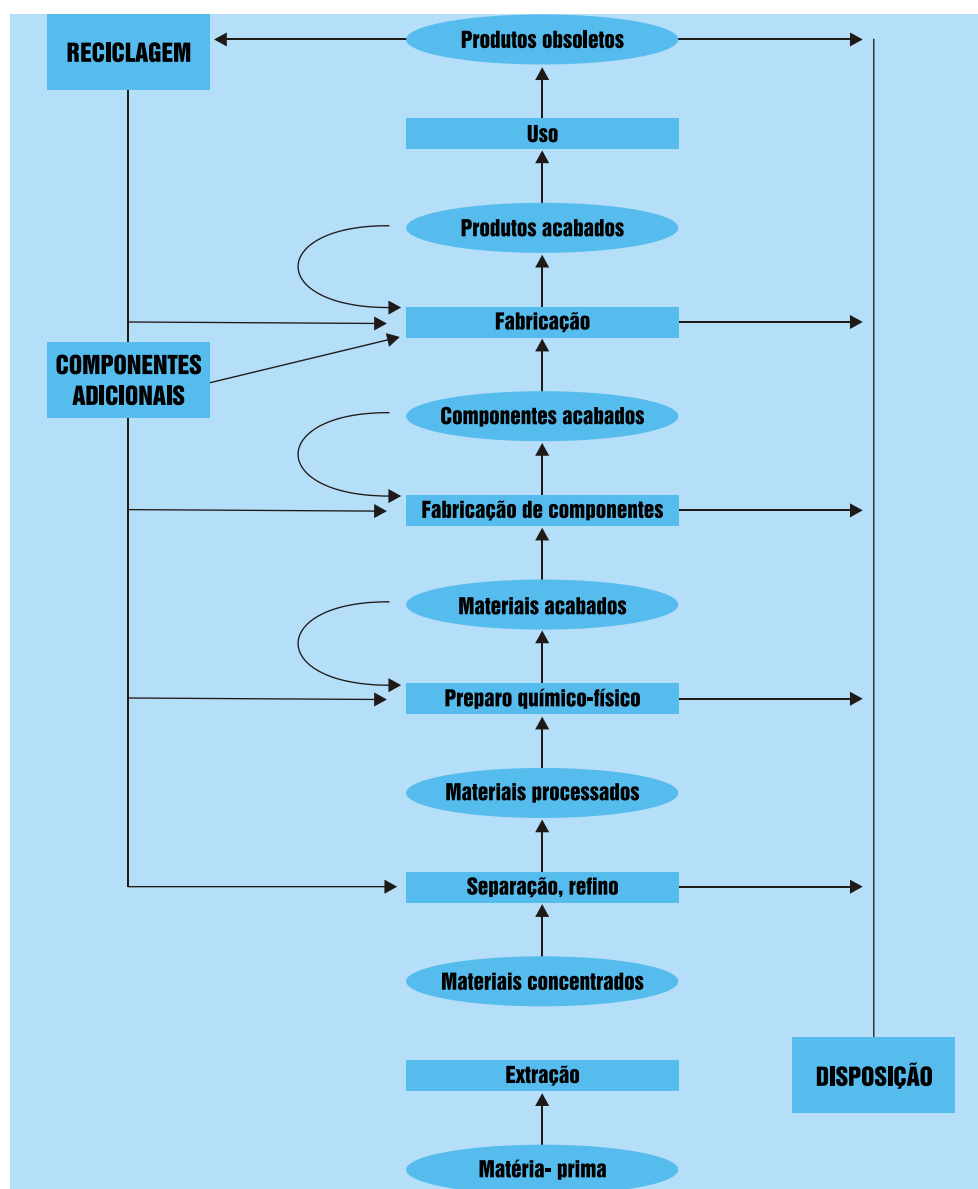
- Um outro estudo de ACV sobre a contribuição de determinado produto para a destruição da camada de ozônio apresentou os seguintes resultados:



Através da ACV foi possível identificar que o estágio mais impactante, e, portanto, onde devem ser concentrados os projetos de melhorias, é o do processamento do produto (Lindfors, 1995).

Mesmo tendo sido idealizado para subsidiar mudanças que levem a melhorias ambientais, a ACV pode ser usada para avaliar impactos que gerem reclamações usuais, para a definição de critérios para outorga de selos verdes, para identificar informações necessárias para cobrir lacunas do conhecimento ou projetar um novo produto, com menores encargos ambientais.

Uma forma esquemática de representar o fluxo de materiais de um produto qualquer encontra-se na Figura 5.1:



Fonte: Graedel e Allenby, 1995.

FIGURA 5.1 – FLUXO DE MATERIAL, CICLO TOTAL

5.3 FASES DA ACV

De modo geral, a literatura a respeito de ACV subdivide a análise nas seguintes fases:

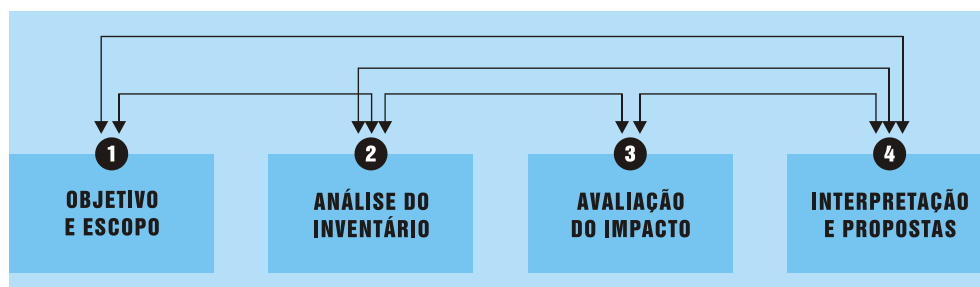


FIGURA 5.2 – FASES DA ACV

As setas no diagrama indicam que uma fase pode influenciar na outra, de modo que o que ficou inicialmente estabelecido pode ser modificado ao longo do estudo. Portanto, as definições iniciais têm caráter preliminar, podendo se cumprir ou não.

OBJETIVO E ESCOPO

Uma Análise de Ciclo de Vida deve ser abrangente, mas não pode ser superficial. Isto é, deve considerar todas as etapas da vida do produto, processo ou atividade, mas não pode deixar de se aprofundar no que se refere às informações mais importantes.

De modo geral, podemos dizer que as maiores limitações para a realização de uma ACV são: dificuldades práticas como coleta de dados em campo, tempo, acesso aos dados, custos, entre outras. Quanto mais ampla e mais detalhada a ACV, mais complexa, cara e demorada ela se torna. Por isso devem ser estabelecidos os objetivos do estudo, os limites da abordagem e a unidade funcional que servirá de referência para o trabalho.

Objetivos

Para podermos delimitar a ACV e torná-la exeqüível, e ao mesmo tempo proveitosa, é fundamental ter o objetivo do estudo muito claro ao longo de todo o processo. Isso permitirá delimitar os esforços necessários.

Muitas vezes o estudo é feito apenas para identificar as etapas que correspondem a um *maior* impacto ambiental ou, ainda, poder fazer-se uma análise somente *qualitativa*, em função da dificuldade de se obter os dados necessários para uma análise quantitativa.

Um objetivo muito comum de uma Análise de Ciclo de Vida é o de, ao final do estudo, ter reunido uma série de informações e parâmetros que irão auxiliar no projeto de um novo produto. A idéia é que no projeto sejam tomadas medidas que minorem os encargos ambientais identificados no produto estudado. É o que se chama DfE – Design for Environment (Projeto para o Ambiente), que utiliza a ACV como ferramenta básica.

Outras metas comuns num estudo de Análise de Ciclo de Vida são: melhoria dos produtos para obtenção de selo verde, minimização de impactos ambientais conhecidos, identificação de pontos que devem ser pesquisados com maior profundidade, identificação das atividades causadoras dos maiores impactos, entre outras.

Limites

Estabelecido o objetivo, deve-se identificar qual o limite do sistema, ou seja, quais processos serão analisados e, dentro dos processos, quais insumos, matérias-primas, formas de energia e de resíduos serão levados em consideração. O critério é que na definição dos limites sejam levados em consideração os itens mais importantes, os que representam maior custo ambiental. Podem ser selecionados, também, os de maior presença na composição do custo final.

Lembrando!

Os limites e objetivos estabelecidos inicialmente não são rígidos, podendo ser modificados ao longo do estudo, em função das dificuldades ou facilidades encontradas.

Para se definir os limites do sistema, aí vão algumas dicas!

Segundo Chehebe (1998), deve-se observar:

- as aplicações pretendidas do estudo;
- as hipóteses realizadas;

- a definição dos critérios de corte;
- as restrições quanto aos dados, às despesas e ao tempo disponível;
- a audiência pretendida.

Para o estabelecimento dos limites, os critérios devem ser identificados e claramente justificados no escopo, de forma a se estabelecer a própria validade do estudo.

Atenção!

Toda ACV deve ser feita com completa transparência. Qualquer decisão de omitir um determinado estágio, processo ou corrente de entrada ou saída deve ser citada, e o motivo da omissão devidamente explicado para garantir credibilidade ao processo e orientar as decisões que possam ser tomadas a partir dele.

Algumas etapas que dificilmente são descartadas na definição dos limites são:

- uso de combustíveis, eletricidade e calor;
- aquisição primária de energia e o processamento do combustível para uma forma utilizável;
- etapa de uso dos produtos;
- disposição final dos resíduos do processo ou produto;
- reuso, reciclagem e recuperação de energia;
- transporte e embalagens.

Atenção!

Você deve concentrar-se nos processos que reconhecidamente geram maiores impactos ambientais. Substâncias tóxicas são um prato cheio.

A Figura 5.3 representa esquematicamente os limites de uma ACV:

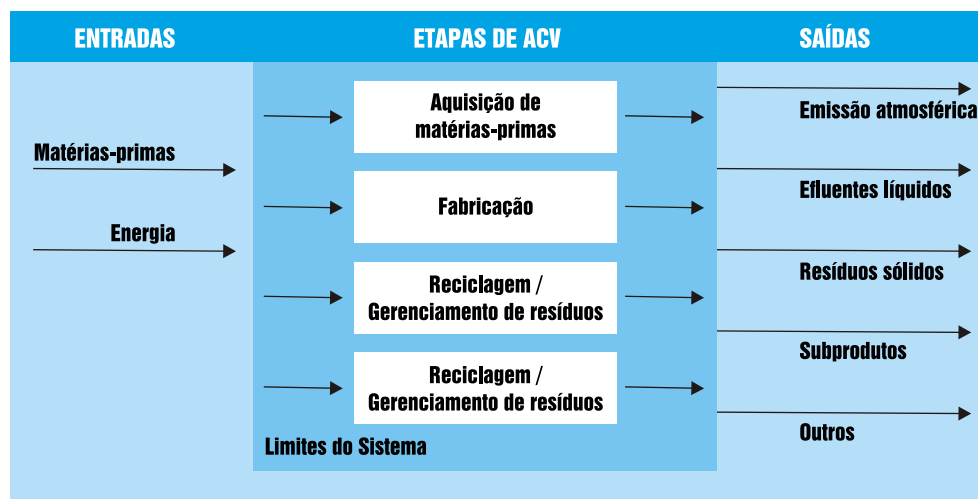


FIGURA 5.3 – DEFINIÇÃO DOS LIMITES DO SISTEMA (SHEN, 1995)

Nas bordas dos limites serão indicadas as entradas e saídas de materiais, insumos e energia.

De forma simplificada, a norma internacional ISO 14040 – Gestão Ambiental – Análise de Ciclo de Vida – princípios e estruturas, estabelece que o conteúdo mínimo do escopo de um estudo de ACV deve referir-se às suas três dimensões: onde iniciar e parar o estudo do ciclo de vida (a extensão da ACV), quantos e quais subsistemas incluir (a largura da ACV) e o nível de detalhes do estudo (a profundidade da ACV).

A Figura 5.4 mostra essas dimensões (Chehebe, 1998):

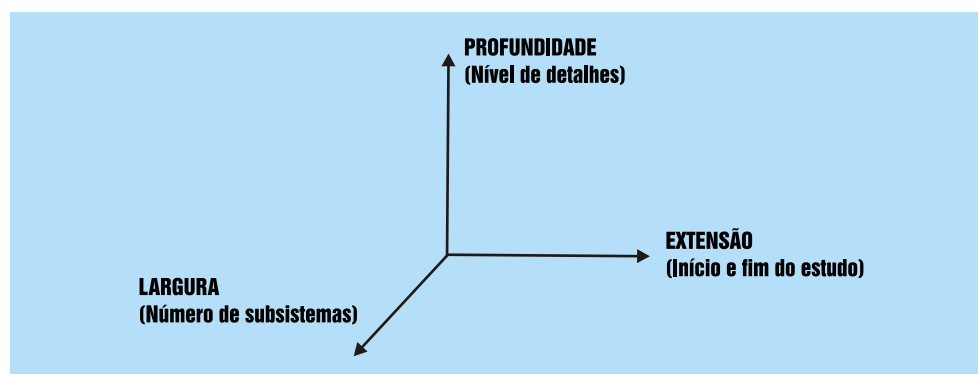


FIGURA 5.4 – DIMENSÕES DE UMA ACV (CHEHEBE, 1998)

Esses aspectos devem ser devidamente tratados, de forma a se ter uma resultante equilibrada, exequível e que atenda ao objetivo do estudo.

Observe o fluxo do polietileno e a definição das três dimensões na Figura 5.5:

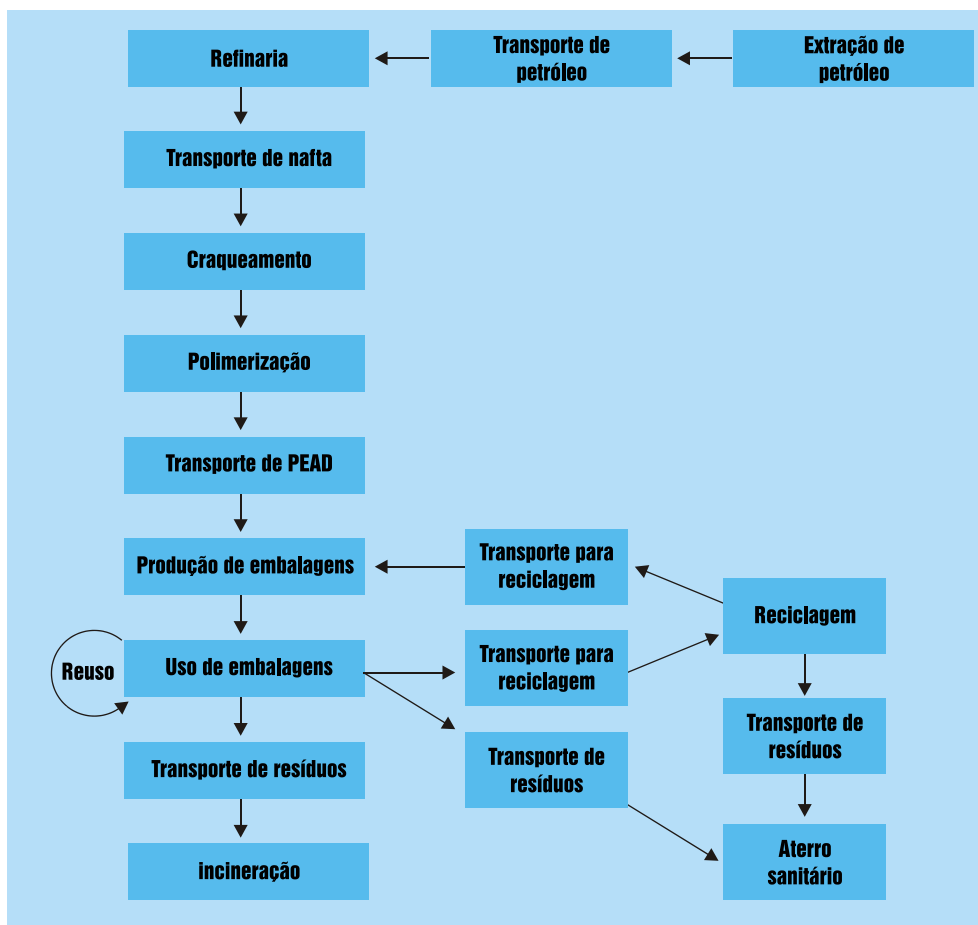


FIGURA 5.5 – CICLO DE VIDA DO POLIETILENO (RYDBERG, 1996)

No exemplo do polietileno da Figura 5.5 temos:

- A **extensão** do estudo vai desde a extração do petróleo até a disposição final no aterro. É o início e o fim.

- A **largura** representa os subsistemas, que vão ser analisados entre o início e o fim do estudo: fabricação de torres de exploração de petróleo, insumos para perfuração, combustíveis, pneus e lubrificantes para o transporte, etc.
- A **profundidade** se refere ao nível de detalhamento e precisão das informações a serem levantadas.

Dica!

Da série ISO 14000 – Norma Internacional de Sistema de Gestão Ambiental –, as que tratam de ACV são:

- **ISO 14040** – Gestão Ambiental – Análise de Ciclo de Vida – Princípios e estrutura.
- **ISO 14041** – Gestão Ambiental – Análise de Ciclo de Vida – Definição e escopo e análise do inventário.
- **ISO 14042** – Gestão Ambiental – Análise de Ciclo de Vida – Avaliação do impacto do ciclo de vida.
- **ISO 14043** – Gestão Ambiental – Análise de Ciclo de Vida – Interpretação do ciclo de vida.
- **ISO-TR-14047** – Gestão Ambiental – Avaliação de Ciclo de Vida – Exemplos para interpretação da ISO 14042.
- **ISO 14048** – Gestão Ambiental – Análise de Ciclo de Vida – Formato da apresentação dos dados.
- **ISO-TR-14049** – Gestão Ambiental – Análise de Ciclo de Vida – Exemplos para a aplicação da ISO 14041.

Ainda na fase de objetivo e escopo, até mesmo antes do estabelecimento dos limites, é importante fazer um fluxograma do processo para se ter uma idéia geral de todas as fases do ciclo de vida.

Por fim, uma vez que o objetivo do estudo esteja claro, é fundamental definir nesta fase da análise a unidade funcional. Para tanto, vale fazer algumas considerações para facilitar o entendimento da importância deste parâmetro numa ACV.

Tanto o impacto ambiental de um produto ou processo como os benefícios econômicos dele dependem do porte da produção e do seu desempenho produtivo, considerando-se também no nível do consumidor ou usuário. Por exemplo, se fizermos uma análise de ciclo de vida comparativa entre dois detergentes e concluirmos que o detergente A tem maior carga ambiental do que o detergente B, mas que no entanto o detergente A permite lavar 1,5 vez o número de pratos que o detergente B lava, isso pode reverter o critério de maior impacto ambiental.

Portanto, é indispensável identificar um parâmetro que permita correlacionar esses aspectos. Este parâmetro funcional ou funcionalidade serve para referenciar cada um dos aspectos estudados com a finalidade ou função do processo ou produto analisado. No caso de análises comparativas, a definição da funcionalidade é essencial, pois permite que sejam comparados produtos diferentes mas que se igualam na função que desempenham no caso de estudos comparativos.

Exemplos de unidades funcionais de alguns produtos ou processos:

Pneu	➡	Quilômetros rodados
Refino de petróleo	➡	Toneladas/ano de gasolina ou mistura de produtos
Garrafas PET	➡	Litros de bebida engarrafados
Detergente	➡	Número de pratos lavados por litro

A definição da funcionalidade permitirá que os parâmetros de impacto possam ser referidos a uma base única.

ANÁLISE DO INVENTÁRIO

Esta talvez seja a fase mais trabalhosa. Aqui devem ser levantados os dados necessários ao estudo. Todos os materiais e energia que entram e saem do sistema são levantados na forma de balanços de massa e energia. O que sai do sistema, ou de cada subsistema, um produto secundário comercializado, uma perda de energia, um resíduo gasoso, líquido ou sólido, disposto em aterro, reciclado, etc., deve ser aqui levantado. O mesmo vale para os insumos materiais e energéticos. É importante que os dados venham de fontes seguras. A qualidade das fontes utilizadas deve ser devidamente esclarecida.

Outra observação importante é que na fase de coleta deve-se observar se os dados obtidos provêm da região onde está sendo feito o estudo ou são compatíveis com as condições da região. Por exemplo, suponha que estivéssemos fazendo uma ACV de um refrigerador e quiséssemos obter dados relativos ao total de energia consumido durante sua fabricação. Ora, sabemos que há diversas fontes de energia – nuclear, hidroelétrica, etc. –, de modo que se os dados obtidos para uso de energia forem relativos a uma fonte energética diferente da que irá ser usada no processo, de que vão valer as informações? Os dados devem refletir, da melhor forma possível, as condições que irão ser encontradas no processo.

Como já foi ressaltado, a obtenção dos dados não é tão simples assim. A dificuldade de se obter dados é um dos principais responsáveis pela redefinição de objetivos e do escopo. Se a qualidade dos dados obtidos não for satisfatória para o cumprimento da meta inicialmente estabelecida, deve-se coletar dados adicionais, para melhorar a qualidade ou redefinir a meta e o escopo do estudo. Dados de menor qualidade levam a resultados que mesmo que possam ser utilizados para subsidiar decisões, seu alcance necessariamente será mais restrito.

Lindfors (1995) inclui entre as fontes de dados:

- Entrevistas com profissionais que tenham reconhecido conhecimento sobre o assunto;
- Companhias, indústrias que tenham em seus processos os elementos estudados;
- Normas técnicas;
- Fatores de emissão;
- Literatura técnica;
- Informações dentro das companhias, indústrias;
- Fornecedores;
- Bancos de dados prontos de Análise de Ciclo de Vida;
- *Software* de ACV.

Observe que os dados levantados devem ser normalizados com relação ao critério de funcionalidade, por exemplo: km/h por quilômetro rodado pelo pneu ou m³ de água por tonelada de polipropileno produzido.

Uma importante verificação ao final desta fase é que o inventário de cada um dos subsistemas somados deve se igualar ao inventário total do sistema. Tudo o que entra sai. Qualquer desvio deste princípio deve ser ressaltado e justificado.

Segundo Lindfors (1995), se a qualidade dos dados obtidos não for satisfatória para o cumprimento da meta inicialmente estabelecida, então pode-se:

1. Coletar dados adicionais para melhorar a qualidade. Se não for possível...
2. Redefinir a meta e o escopo do estudo. Se não for possível...
3. Abandonar o estudo. Largar tudo. Desistir!

AVALIAÇÃO DO IMPACTO

Neste ponto do estudo, já temos um levantamento de todos os dados: matérias-primas, insumos e energia, que entram e saem em cada uma das etapas, que fazem parte dos limites que estabelecemos para nosso sistema. Em alguns casos, essas informações serão quantitativas; e em outros, qualitativas.

Na fase anterior, os dados obtidos certamente permitiram observar que algumas fases do ciclo de vida contribuem de forma mais significativa do que outras na exaustão dos recursos naturais, nos impactos sobre a saúde humana e sobre o meio ambiente. Na fase de avaliação do impacto isso deve ser **validado** através de um estudo mais profundo.

Há muitas metodologias disponíveis para fazer a análise quantitativa/qualitativa que essa fase do estudo requer, como, por exemplo, metodologias de AIA, análises de risco, análises de melhorias técnicas e econômicas, entre outras.

As metodologias são geralmente muito detalhadas e complexas. A escolha vai depender dos objetivos estabelecidos na primeira fase do estudo. Esta norma recomenda que, seja qual for a metodologia escolhida, as seguintes etapas não podem deixar de ser consideradas:

Seleção e Definição das Categorias: Onde são identificados os grandes focos de preocupação ambiental, as categorias e os indicadores que o estudo utilizará (estes se relacionam a efeitos ou impactos ambientais conhecidos, efeitos tóxicos, aquecimento global, acidificação, saúde humana, exaustão dos recursos naturais, etc.). As categorias devem ser estabelecidas com base no conhecimento científico dos processos e mecanismos ambientais. Como isso nem sempre é possível, admite-se que, em alguns casos muito específicos, o julgamento de valores possa substituir parte do conhecimento científico.

Classificação: Onde os dados do inventário são classificados e agrupados nas diversas categorias, anteriormente identificadas. A atribuição adequada é crucial nesses casos para a relevância e validade da avaliação do impacto.

Caracterização: Onde os dados do inventário atribuídos a uma determinada categoria são modelados, para que os resultados possam ser expressos na forma de um indicador numérico para aquela categoria. Pontos a serem observados:

- o indicador de categoria representa a carga total ambiental ou a significância do uso dos recursos naturais especificada para a categoria, após a conversão e a agregação dos dados do inventário atribuídos à mesma;
- para a conversão dos dados do inventário deve-se dar preferência à utilização de fatores de equivalência baseados em conhecimentos científicos e universalmente aplicáveis. Os fatores de equivalência são também chamados de fatores de caracterização. Os fatores científicos de caracterização nem sempre podem ser obtidos. Se o julgamento de valores for utilizado em substituição aos fatores de caracterização em estudos dentro das organizações, os resultados dos indicadores devem ser identificados na forma de uma escala de valores;
- juntos, os resultados dos indicadores representam um perfil de emissão e utilização de recursos naturais para o sistema. (ISO 14042, 1997, apud Chehebe, 1998)

INTERPRETAÇÃO E PROPOSTAS

Nesta etapa, segundo Chehebe (1998), deve-se:

- analisar os resultados obtidos nas duas fases anteriores;
- tirar conclusões compatíveis com os objetivos estabelecidos;
- explicar as limitações do estudo;
- identificar oportunidades de melhoria de acordo com o objetivo.

As melhorias podem se dar através de mudanças no processo de manufatura, em um novo *design* para o produto, em mudanças de matérias-primas, na forma de uso e descarte do produto, enfim, podem ser identificadas melhorias ao longo de todo o ciclo analisado.

Aqui também pode ser indicada a forma como o estudo pode ser aperfeiçoado, com indicação do uso de outras ferramentas, ou pesquisa relativa a determinado tema, enfim, é feita uma avaliação crítica do próprio estudo, indicando caminhos para aperfeiçoá-lo.

São essas, enfim, as quatro fases de estudo de uma ACV. Essa divisão pode variar um pouco de autor para autor, mas os conteúdos são similares.

5.4 ACV PARA IDENTIFICAÇÃO DE QUESTÕES-CHAVE

Nem todas as Análises de Ciclo de Vida cumprem necessariamente as quatro fases anteriormente descritas. Muitas análises são efetivadas apenas para se identificar as questões ambientais principais, ou questões-chave.

Uma ACV como essa pode ser extremamente útil para identificar questões como:

- Uma categoria de impactos dominante;
- Um estágio dominante no ciclo de vida;
- Uma lacuna nos dados ou no conhecimento.

(Lindfors, 1995)

Neste caso, trabalha-se basicamente com informações qualitativas. Informações quantitativas são utilizadas para comparar a importância de processos, correntes de insumos e resíduos e impactos ambientais.

5.5 ANÁLISES COMPARATIVAS

Além da Análise do Ciclo de Vida de um único produto, processo ou serviço, há uma outra forma típica de ACV. É a ACV comparativa.

Através de uma análise comparativa entre dois produtos é possível identificar as maiores diferenças nos impactos ambientais potenciais das duas alternativas, para ver qual delas é menos agressiva ao ambiente.

Atenção!

Neste caso, os produtos têm que atender ao mesmo propósito. Têm que ter a mesma funcionalidade, a mesma utilidade. Não importa se um deles é feito de metal e o outro de plástico, por exemplo. Portanto, não estará se comparando bananas com laranjas, pois o importante é comparar o impacto ambiental final que cada um deles causa, por unidade funcional.

Os resultados de um estudo como esse podem ser:

- Comparar as maiores diferenças dos impactos ambientais potenciais entre os sistemas;
- Selecionar os tipos de impactos causados por um sistema, que são candidatos em potencial a melhorias, quando comparados com um sistema de referência;
- Avaliar as opções ambientais potenciais dadas pela escolha entre as diferentes alternativas, isto é, identificando os benefícios ambientais de determinada alternativa;
- Identificar as categorias de impactos que não são significativamente afetadas pela escolha entre as alternativas.

Como já foi dito, uma Análise de Ciclo de Vida pode ser muito trabalhosa se não forem excluídas as partes menos importantes. No caso de uma análise comparativa, pode-se imediatamente descartar do estudo os impactos equivalentes entre os dois produtos. Só tem sentido comparar efeitos ambientais se pudermos optar pelos menos impactantes.

5.6 ALGUMAS APLICAÇÕES DE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

A seguir são apresentados dois estudos de Análise de Ciclo de Vida, do **Café** e do **Vidro**, ambos realizados pela Universidade dos Andes, Colômbia. Para sua realização foi utilizado um *software* especializado em ACV, o SimaPro. Segundo Hoof, autor do documento que relata os dois exemplos, “o SimaPro é o software mais utilizado no mundo, principalmente na Colômbia”, onde se realizaram os estudos.

Estudo 1 - Análise de Ciclo de Vida: Café

Referência: Bart van Hoof – Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y su aplicación en Colombia. Santa Fé de Bogotá, maio de 2000.

Descrição do projeto

- Empresa: uma região de cafeicultura na Colômbia.
- Produto: café tradicional, tostado e moído.
- Pesquisador: Universidade dos Andes. Carlos Francisco Pareja.

Objetivo da empresa com o estudo

A associação dos cafeicultores tem entre os seus objetivos, incentivar a investigação científica em áreas que possam contribuir para melhorar a qualidade do café, que permitam também um aumento de produtividade e receita aos seus associados, levando sempre em consideração o fator ambiental. Adicionalmente, o estudo de Análise de Ciclo de Vida ajuda a comparar os cafés orgânicos com relação aos tradicionais, dando diretrizes para melhorias de mercado e direcionamento de produtos.

Unidade Funcional

Para o estudo adotou-se como unidade funcional 100kg de café tostado e moído, disposto em um supermercado de Bogotá, em unidades de 500g, empacotado em sacos de polipropileno metalizado. No estudo foram analisadas as etapas de cultivo, beneficiamento tradicional e também ecológico, processamento industrial e distribuição.

Resultados

Foi estudada a produção de dois tipos de café: o café tradicional e o café orgânico com beneficiamento ambiental. Ambos os produtos têm como processos similares a parte industrial e de transporte, e determinando um impacto comparativo temos que o café do processo tradicional tem maior impacto sobre o meio ambiente que o orgânico.

A diferença da “*ecopontuação*” do orgânico em relação ao tradicional chega a ser maior em 600%. Uma vez que o café orgânico tem um público bastante reduzido devido aos altos custos envolvidos, decidiu-se analisar em que ponto do ciclo de vida do café tradicional era prioritário trabalhar.

Segundo o estudo, as prioridades citadas anteriormente encontram-se nas fases de cultivo e beneficiamento. Isso nos ajuda a determinar de maneira preliminar que fatores ou que fases são prioritárias para melhorar o perfil ambiental do produto.

Estudando essas duas fases percebemos que na fase de cultivo a utilização de pesticidas, fungicidas e herbicidas é o fator que determina a alta pontuação desta etapa. Essas substâncias apresentam um impacto considerável devido à periculosidade para a saúde humana e de algumas espécies. O segundo problema encontra-se na eutrofização da água, que é causada pela grande quantidade de nutrientes e sólidos em suspensão gerada no processo e lançada normalmente em corpos d’água.

No processo industrial, a etapa de tostar é responsável pela principal causa do problema de acidificação nas diferentes emissões atmosféricas decorrentes da combustão. Dado o grande volume de produção nesta fase, a carga por unidade funcional é mínima.

Através do estudo fica claro que o maior impacto é o causado pelo uso de pesticidas na etapa de produção do cultivo. Para o estudo, foi considerado um período de cinco anos. Nessa análise deve-se destacar que a terra foi identificada como insumo, não tendo sido considerado como prioritário, pois não representa maior impacto.

No detalhamento da fase de beneficiamento úmido, segundo os dados do inventário, a maior contribuição para eutrofização encontra-se na fase de remoção da polpa. Nessa fase, a quantidade de nutrientes emitida para a água é considerável.

Conclusões

Da Análise de Ciclo de Vida (ACV) realizada chegou-se às seguintes conclusões:

- As tendências de mercado para o consumo de café orgânico não só são benéficas do ponto de vista econômico, mas também do ponto de vista ecológico, tal como mostram os resultados.
- No ciclo de vida do café tradicional, as fases de cultivo e beneficiamento são aquelas em que se devem concentrar as melhorias.
- Os esforços que se realizam atualmente para alcançar menor consumo de água no beneficiamento do café são apropriados.
- Não são prioritários os efeitos derivados do transporte e do empacotamento, em que pese este ser é um resíduo sólido.
- A médio prazo poderia se pensar na utilização de combustíveis alternativos para a fase de torstar o café, e dessa maneira buscar diminuir as emissões atmosféricas devido à combustão.

Estudo 2 - Análise de Ciclo de Vida: Vidro

Referência: Bart van Hoof – Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y su aplicación en Colombia. Santa Fé de Bogotá, maio de 2000.

Descrição do projeto

- Empresa: uma empresa de produção de vidro.
- Produto: garrafas de vidro.
- Pesquisadores: Universidade dos Andes. Mauricio Aponte, Magola Torres, Medardo Barrios e Guillermo Zarco.

Objetivo da empresa com o estudo

A empresa busca, mediante este projeto, adquirir argumentos válidos em relação aos impactos ambientais da garrafa de vidro retornável e a não retornável, permitindo, assim, uma orientação nas suas estratégias de mercado e produção, tendo como base o suporte técnico dos resultados analisados através do ciclo de vida dos produtos em questão.

Unidade de análise

Foi definida, em conjunto com os empregados da empresa, a unidade funcional de 100 litros de cerveja, engarrafados e empacotados, e postos no supermercado, para cada um dos seguintes produtos:

- Garrafa retornável de 300cm³ para cerveja, de cor âmbar (210g).
- Garrafa não retornável de 300cm³ para cerveja, cor âmbar (190g).

Resultados

De acordo com a “*ecopontuação*” obtida para os ciclos de vida de cada uma das garrafas, a garrafa não retornável contribui consideravelmente mais para os problemas ambientais do que a garrafa retornável. A razão principal é a economia de recursos em matérias-primas na produção da garrafa retornável, por causa do uso repetitivo ao longo de sua vida útil.

Segundo as “*ecopontuações*” obtidas para cada fase do ciclo de vida das garrafas, a fase de matérias-primas da garrafa não retornável contribui consideravelmente mais para os problemas ambientais do que as outras fases da mesma garrafa; e seguem nessa ordem as fases de produção, transporte, uso e reciclagem. Para a garrafa retornável, a ordem de contribuição é transporte e uso, matérias-primas, produção e reciclagem. Os resultados indicam que as fases de matéria-prima e produção da garrafa não retornável aportam consideravelmente mais aos problemas ambientais do que as mesmas fases da garrafa retornável, e ocorre o contrário para as fases de transporte, uso e reciclagem.

O estudo indica que o maior problema ambiental ocasionado no ciclo de vida da garrafa não retornável é a acidificação. Este problema surge, principalmente, no processo do segundo forno, na fase de produção; as principais emissões geradas no ciclo de vida que conduzem a este problema são NO_x e SO₂, pela utilização de combustíveis fósseis.

O maior problema ambiental ocasionado pelo ciclo de vida da garrafa retornável são os compostos cancerígenos. Este problema surge, principalmente, no processo de lavagem e enchimento, nas fases de transporte e uso; o principal componente no ciclo de vida que conduz a este problema é o níquel no ar.

O maior problema ocasionado pela fase de matérias-primas do ciclo de vida de ambas as garrafas são os metais pesados. Este problema surge, principalmente, no processo de obtenção do casco, e o principal componente no ciclo de vida que conduz a este problema é o nível de chumbo dissolvido na água que é utilizada na lavagem.

Conclusões a que se chegou neste estudo:

- O melhor produto em nível ambiental é a garrafa retornável.
- Não se pode concluir sobre a vantagem ou prejuízo de uma troca na composição das matérias-primas do casco, porque não foi levado em conta o possível benefício ou prejuízo que traria um aumento ou diminuição da reciclagem do vidro como resposta ao aumento ou diminuição de sua demanda. Dessa forma, se faz necessária uma análise mais profunda deste aspecto para que seja superado este aspecto limitante do estudo.
- Recomenda-se seguir adiante com o processo de substituir o óleo combustível utilizado no segundo forno por gás natural.

FECHAMENTO

Apresentamos neste capítulo a Análise de Ciclo de Vida de produtos e processos como uma nova estratégia ambiental para fazer frente à crescente exaustão dos recursos naturais e aos impactos ambientais. Esta ferramenta é considerada como uma alternativa pró-ativa na defesa do meio ambiente, podendo contribuir para aumentar a competitividade da empresa que a adota.

Fizemos, ao longo desta etapa de aprendizado, uma abordagem conceitual da ferramenta e tentamos passar uma idéia de como aplicar o conhecimento de ACV na prática. Apontamos também as dificuldades normalmente encontradas na realização de uma ACV e algumas possíveis formas de superá-las. Procuramos demonstrar que esta ferramenta permite, através de sua estrutura, calcular quantitativamente o perfil ambiental de um produto, processo ou serviço.

Vimos ainda neste capítulo que a ferramenta Análise de Ciclo de Vida é relativamente nova. Portanto, podemos concluir que muitos aspectos aqui abordados tendem a ser aprimorados e desenvolvidos mais detalhadamente numa velocidade muito rápida num futuro próximo, uma vez que as exigências ambientais também vêm se solidificando em ritmo acelerado.

CAPÍTULO 6

ECOLOGIA INDUSTRIAL E PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE (DfE)

Sean Patrick Bradley
Asher Kiperstok

Universidade Federal da Bahia • UFBA • MEAU
Universidade Federal da Bahia • UFBA • TECLIM

“As empresas precisam formular estratégias próprias de projeto/manufatura que sejam específicas o suficiente para atender às suas necessidades como criadores de produtos únicos, mas que se relacionem e atendam a demandas mais altas, tais como as políticas e os desafios das estratégias ambientais globais.”

T. C. McAlloone & Dr. S. Evans, 1996

Antes de iniciarmos o conteúdo deste capítulo, vamos revisar um pouco o conhecimento até agora trabalhado de processo de aprendizagem. Isto certamente vai ajudá-lo a compreender melhor o contexto em que Projeto para o Meio Ambiente (DfE) poderá ser inserido.

No primeiro momento de interação com você discutimos, em termos de ordem de grandeza, a redução do impacto ambiental necessária por unidade de produto, para se contrapor aos impactos decorrentes do crescimento da atividade econômica. Na ocasião falamos sobre o Fator 10, um conceito que autores institucionais e individuais têm usado para expressar o nível de redução do impacto ambiental por unidade de produto, que deve ser atingido nos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Introduzir a Ecologia Industrial e os conceitos e medidas a ela relacionados.
- Apresentar metodologias de Projeto para o Meio Ambiente.
- Discutir a forma de organizar variáveis de decisão ambiental em contextos mais amplos do que um processo produtivo restrito.
- Apresentar fatores ambientais relevantes como escolha de materiais, melhorias no processo, transporte, armazenamento, embalagens.
- Contextualizar o Projeto para o Meio Ambiente em relação à ACV.
- Trazer informações gerais sobre o processo de projetar produtos e processos.

próximos 50 anos. Longe de ser um número preciso, ou de se pretender qualquer exatidão no sentido dos prazos para isto ser atingido, o Fator 10 alerta para a necessidade de se pensar além das medidas convencionais, hoje predominantes, de gerar resíduos para depois destruí-los. *“Pensar fora da caixa”*

Num segundo momento, com o objetivo de compreender melhor o motivo das preocupações ambientais, compartilhadas por vários segmentos da sociedade como um todo, relacionamos os principais problemas associados a produtos e processos projetados sob a ótica de um paradigma de que resíduo é inerente ao processo produtivo.

Como não podia deixar de ser, apresentamos medidas e enfoques que podem ser aplicados visando minimizar os resíduos gerados principalmente em processos produtivos já existentes. Passamos aí a tentar fazer você perceber a necessidade de adequar produtos e processos de maneira a atender às demandas ambientais de mercado.

Consideramos importante também apresentar a metodologia desenvolvida pela UNIDO/UNEP para implementar um programa de Prevenção da Poluição/Produção mais Limpa, de forma prática, em processos produtivos.

Outra ferramenta que achamos interessante discutir um pouco mais com você foi a ACV (Análise de Ciclo de Vida), que pode ser utilizada para avaliar o impacto de produtos e serviços em todas as suas fases, desde a extração da matéria-prima até disposição final do produto pós-uso. É bom lembrar que através da ACV podemos identificar os aspectos críticos a serem trabalhados e definir diretrizes a serem adotadas no processo de concepção de um novo produto ou processo considerado mais ecologicamente correto.

Vale salientar que até este momento do aprendizado estávamos concentrados nos limites físicos da fábrica. No entanto, neste capítulo vamos procurar abrir um pouco mais a discussão. Vamos pensar, aqui, na necessidade de uma maior articulação entre os setores produtivos e a sociedade. Vamos, ainda, entender que o impacto ambiental da produção deve ser discutido bem antes de se construir a fábrica. Deve começar até mesmo na própria fase de concepção dos produtos a serem manufaturados. Estaremos conversando a partir de agora sobre Ecologia Industrial e Projeto para o Meio Ambiente.

Atingir o Fator 10 vai exigir isto, e muito mais! Por exemplo, mudanças nos padrões de consumo, principalmente nas sociedades opulentas. Contudo, esta discussão, mesmo sendo apaixonante, foge ao escopo deste módulo.

O desenvolvimento de conceitos abrangentes para orientar a relação entre os modos de produzir e consumir, como não podia deixar de ser, tem gerado diferentes pontos de vista. Alguns deles colocam de forma conflitante as propostas da Prevenção da Poluição/Produção mais Limpa com as da Ecologia Industrial (EI). Outros autores interpretam estas diferenças como enfoques complementares e não antagônicos. O trabalho de Marinho e Kiperstok (2000), *Ecologia Industrial e Prevenção da Poluição: uma contribuição ao debate regional*, aborda estas diferenças e as aplica ao caso do Pólo Petroquímico de Camaçari - www.teclim.ufba.br. O periódico *Journal of Cleaner Production* dedicou uma edição inteira à discussão das divergências e convergências entre esses conceitos.

De fato, os autores mais relacionados com a P2 têm focado mais o processo interno à fábrica. Já os autores relacionados à EI têm-se preocupado mais com as relações interfábricas e sua inserção nos ciclos naturais. Instrumentos como a Análise de Ciclo de Vida e metodologias de Projeto para o Meio Ambiente tentam operacionalizar esses esforços. Eles tentam responder a perguntas do tipo: Quais são os fatores que você deve levar em conta quando está projetando produtos ou processos industriais? Quais são realmente suas prerrogativas, e o que se encontra previamente definido pelas restrições do mercado, e pela legislação e regulamentação?

O Projeto para o Meio Ambiente (Design for Environment – DfE) representa uma linha de pensamento que a cada dia que passa se consolida como uma alternativa para casar interesses corporativos com preservação ambiental.

Tomar decisões nunca foi fácil, mas hoje as complexidades envolvidas são significantes, e erros de projeto podem condenar o produto a impactar o ambiente por anos, comprometendo o nome da empresa. Portanto, não é suficiente identificar fatores ambientais importantes no projeto de produtos, mas sim estruturá-los de forma que projetistas possam incluí-los apropriadamente.

A meta do DfE, assim como da Ecologia Industrial, precisa ser esclarecida, e o processo de projetar, avaliado diante desta meta. Nossas decisões de projeto precisam caminhar nesta direção, de forma a contribuir efetivamente para a sustentabilidade dos sistemas de produção.

6.1 ECOLOGIA INDUSTRIAL – EI

A discussão sobre a sustentabilidade do planeta, à luz do crescimento do poder de impacto do binômio produção-consumo, obrigou a aproximação de cientistas e pensadores das ciências naturais, sociais e de tecnologia do processo produtivo. Um importante encontro desse tipo ocorreu em julho de 1992, em Snowmass, Colorado, EUA, reunindo 50 participantes de diferentes países para discutir o tema Ecologia Industrial e Câmbio Global. Os resultados desse encontro foram publicados por Socolow et al. (1994).

Os conceitos de “*Metabolismo Industrial*” e “*Ecologia Industrial*” têm-se manifestado ao longo das últimas três décadas, ainda que de forma dispersa.

A idéia de descrever os fluxos de material e energia, dos processos industriais, como um sistema metabólico foi introduzida por Robert U. Ayres, que cunhou o termo “Metabolismo Industrial” (Ehrenfeld, 1997). O conceito se fundamenta, basicamente, na aplicação do princípio de equilíbrio de massas à circulação de materiais e energia ao longo dos processos produtivos.

O conceito de Ecologia Industrial, entretanto, deveria ir além. Erkman (1997) entende que, a partir do conhecimento de como os sistemas industriais funcionam e são regulados, de suas interações com a biosfera e do conhecimento disponível sobre meio ambiente, estes sistemas seriam reestruturados para compatibilização com os ecossistemas naturais (Marinho e Kiperstok, 2000).

Na sua origem, a palavra “industrial” no termo “Metabolismo Industrial” tinha um significado mais amplo do que o utilizado em “Ecologia Industrial”. No primeiro, abrangia toda a civilização; no segundo, abordava processos produtivos específicos. No primeiro, se discutia o assunto transporte, por exemplo; enquanto que o segundo se discutia o automóvel, os pneus, etc. Com o passar do tempo, o termo “Ecologia Industrial” passou a ter uma abrangência ampliada, sendo mais divulgado (Socolow et al., 1994).

Ambos os termos surgem da comparação entre os processos naturais com os processos produtivos. Esta comparação apontou para uma diferença fundamental: enquanto os processos produtivos se dão em ciclos abertos, os naturais são fechados. Ciclos abertos implicam em geração de produtos e resíduos. Nos ciclos fechados não cabe o conceito de resíduo.

Questão para reflexão:

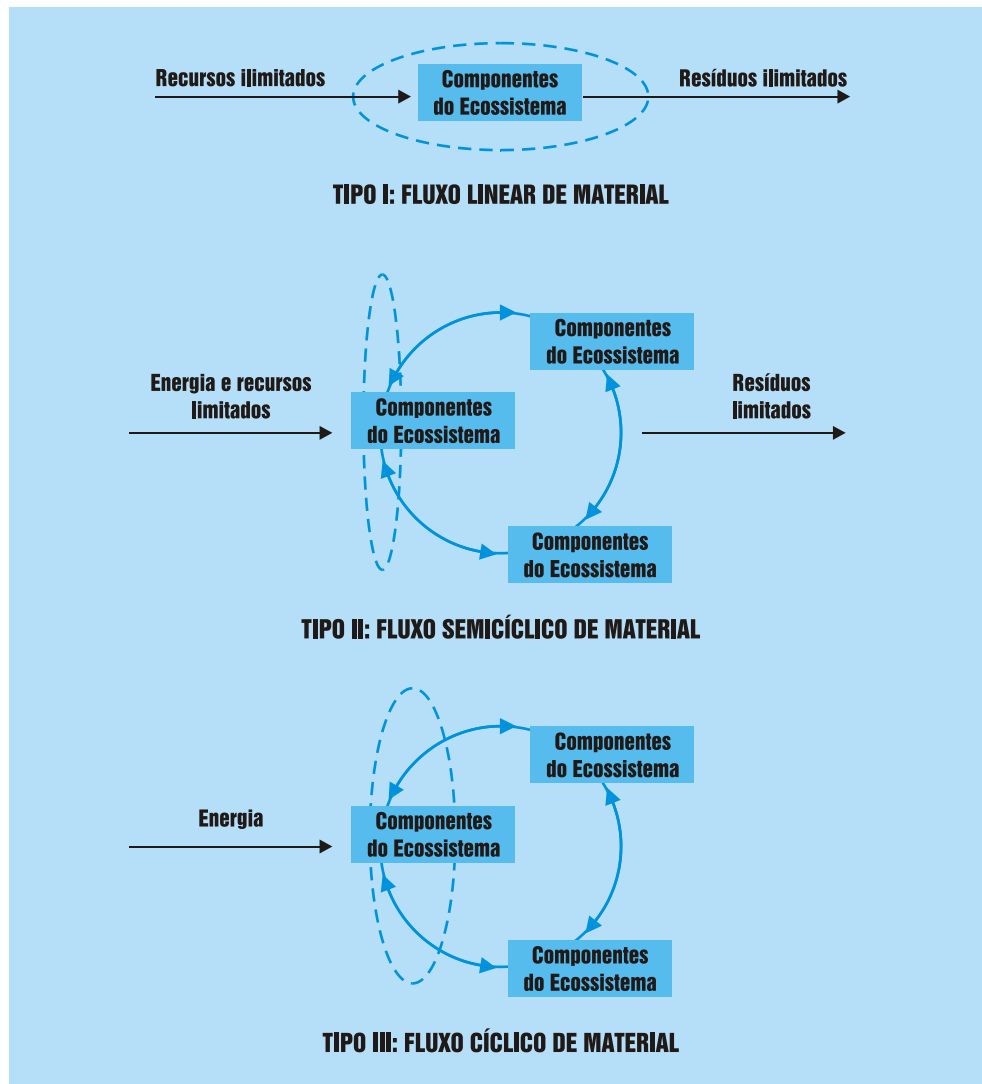
- O que poderia ser considerado resíduo numa floresta natural, por exemplo?

Retire qualquer componente da floresta. As folhas caídas no chão? Os troncos podres? E condenaremos a floresta ao desaparecimento. Ou teremos que importar insumos externos para sua manutenção. Porque esses elementos, que alguns ainda enxergam como restos, são um elo fundamental na estrutura e funcionamento de todo o ecossistema da floresta, e sem esse elo/"resíduo" a floresta morreria.

Graedel e Allenby (1995) definem a Ecologia Industrial como "o meio através do qual a humanidade pode, deliberada e racionalmente, aproximar e manter uma capacidade de carga apropriada, com uma contínua evolução econômica, cultural e tecnológica. Assim, Ecologia Industrial precisa apoiar a estrutura e função dos ecossistemas, porque os seres humanos são apenas uma componente nas interações ecológicas e não podem ser separados deste todo". Simplesmente, nossa saúde é dependente da saúde dos outros componentes do ecossistema. O todo é integrado.

O termo "Ecologia Industrial", ao se fundamentar numa analogia com a ciência da ecologia, prioriza as funções e relações das partes diversas que conformam um ecossistema. "A EI procura otimizar os ciclos de materiais, da matéria virgem aos produtos finais, de forma a eliminar a disposição de resíduos." (Graedel, T. apud Socolow, 1994)

Para ilustrar a evolução de sistemas abertos para sistemas fechados sob o enfoque dos materiais, Graedel utiliza as Figuras 6.1 e 6.2:



Fonte: Graedel, T. apud Socolow et al., 1994.

FIGURA 6.1 – SISTEMAS ABERTOS E FECHADOS

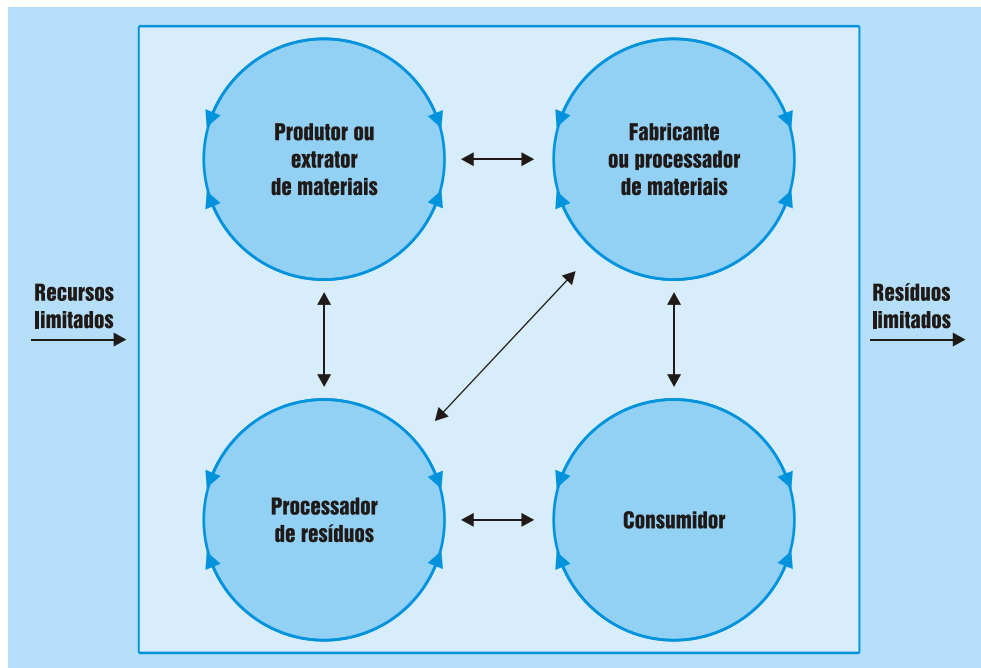


FIGURA 6.2 – TIPOS DE FLUXOS DE MATERIAIS (GRAEDEL, T. APUD SOCOLOW ET AL., 1994)

O sistema Tipo I caracteriza uma situação de abundância de recursos naturais, em que não existem pressões no sentido de se preocupar com qualquer eficiência no seu uso. Usam-se insumos ilimitados e geram-se resíduos ilimitados. Na medida em que o processo de transformação é insignificante, em relação ao ecossistema onde se localiza, os impactos gerados são imperceptíveis.

Com o crescimento da produção e do consumo começa a ser sentida uma pressão sobre os ecossistemas, sejam locais, regionais ou planetários. Os limites do meio ambiente passam a ter presença real. Surgem restrições ao uso ilimitado dos recursos naturais e, conseqüentemente, a produtividade no seu uso aumenta. Isso leva à redução da relação resíduo produzido por unidade de produto gerado. Esta situação encontra-se representada no sistema Tipo II, da Figura 6.1.

O crescimento do consumo nos coloca a necessidade de pensar caminhos para poder atingir o sistema Tipo III. O surgimento do conceito de Fator 10 aponta para os esforços que estão sendo realizados nesse sentido.

Resumindo, a abordagem da Ecologia Industrial pretende:

- perceber sistemas e atividades em conjunto com o meio ambiente, em vez de considerá-los de forma isolada;
- fornecer uma perspectiva global e sistêmica;
- identificar e seguir fluxos e transformações de materiais e energia através dos sistemas;
- estabelecer uma abordagem transdisciplinar;
- mudar de processos abertos para processos cíclicos e fechados;
- reduzir impactos ambientais;
- integrar os sistemas industriais entre si e com a comunidade;
- estimular os sistemas naturais, que são mais sustentáveis e eficientes;
- promover o uso sustentável de recursos naturais.

Com isso a Ecologia Industrial busca ciclos e processos ótimos para todos os recursos materiais e energéticos, enquanto enquadrados nos limites ambientais e financeiros atuais. Soluções ótimas são buscadas e determinadas através do estabelecimento de um equilíbrio entre os fatores e os limites em conflito. Dessa forma a Ecologia Industrial ajuda na obtenção de soluções racionais, amplas e sustentáveis.

Por fim, pode-se dizer que a Ecologia Industrial busca uma economia sustentável ligada ao desenvolvimento cultural, levando em conta um moderado crescimento populacional. No entanto, as ações da Ecologia Industrial são, em grande parte, avanços tecnológicos e soluções técnicas em vez de soluções sociais.

Para complementar o aqui exposto, sugere-se a leitura dos trabalhos:

AUSUBEL, J. H. Liberação do meio ambiente. **Tecbahia**, Bahia, v. 12, n. 2, p. 29-41, 1997.

FROSCH, R.A. No caminho para o fim dos resíduos, as reflexões sobre uma nova ecologia das empresas. **Tecbahia**, Bahia, v. 12, n. 2, p. 42-53, 1997.

LOVINS, A.B.; LOVINS, L.H.; HAWKEN, P. A road map for natural capitalism. **Harvard Business Review**, p. 145-158, may/jun.1999.

Questão para reflexão:

- Compare os textos citados e aponte suas convergências e divergências.

Com esta visão, passemos agora a discutir como introduzir esses conceitos no projeto e fabricação de novos produtos e processos.

PROJETAR

Numa escala conceitual mais detalhada, o Projeto para o Meio Ambiente (Design for Environment – DfE) é normalmente inserido no contexto da Análise de Ciclo de Vida (ACV). Considerado assim, o DfE compõe a parte da ACV em que objetivamos a melhoria do produto. Outras perspectivas consideram o Projeto para o Meio Ambiente um tipo de projeto com abordagem holística que leva em conta todo o ciclo de vida. Nesse caso, é freqüentemente equacionado com *ecodesign*, mas tem-se uma série de outros nomes, mais ou menos equivalentes, como: “Life Cycle Design”, “EcoRedesign” e “Green Design”.

De qualquer modo, pode-se identificar três elementos-chave na questão:

- processo de projeto envolve a tomada de decisões a respeito da forma, função e uma série de outras qualidades do produto;
- uma nova abordagem que vai além do simples objeto, em que se incluam todas as etapas da vida, é hoje considerada fundamental;
- considerações ambientais têm que ser levantadas cedo no processo de produção.

Apesar de abordar conceitos novos, já existem críticas direcionadas ao DfE, por focalizar demasiadamente melhoramentos incrementais no produto em vez de concentrar-se em novas maneiras de satisfazer as necessidades dos clientes e assim conseguir resultados ambientais além dos previstos para atingir o Fator 10.

Por enquanto, podemos enquadrar o Projeto para o Meio Ambiente no âmbito de uma série de conceitos ambientais emergentes. A raiz do DfE é o processo de projetar. Projeto é fundamentalmente um processo de inovação. Porém, os métodos de projeto, tanto associados ao desenho industrial como em outras áreas, não têm sido inseridos em

seus respectivos contextos sociais e ambientais. Tradicionalmente, os fatores de função, aparência e custos têm dominado quase por completo os processos de projeto.

A importância do projeto não é sempre reconhecida. Muitas vezes os administradores de fábricas são culpados por problemas de poluição, quando na verdade são problemas resultantes de decisões feitas por projetistas de produtos e processos em conjunto com o próprio mercado. Então, existe uma grande responsabilidade por parte do projetista em aplicar todos os métodos possíveis de reduzir os impactos ambientais que possam advir dos processos e produtos por ele projetados. A extensa vida útil de muitos produtos e processos, que freqüentemente vai de alguns anos a várias décadas, torna as decisões do Projeto para o Meio Ambiente essenciais, já que os impactos de tais decisões persistem ao longo desse mesmo período.

Alguns autores citam que 70% dos custos de manufatura e os atributos dos produtos são decididos relativamente cedo no processo de projeto (Andreasen, M.; Khiler, S. & Lund, T. *Design for Assembly*, London: IFS Publications, 1983). Graedel e Allenby (1995) também destacam o fato que estratégias de Projeto para o Meio Ambiente são mais efetivas durante as fases iniciais do projeto. Nas fases iniciais, normalmente é mais fácil alterar o projeto para adequar-se aos fatores ambientais do que nas fases subsequentes. Por exemplo, é mais simples e menos caro reduzir emissões de gases ácidos removendo compostos de enxofre da matéria-prima do que capturá-los e tratá-los nos estágios finais do processo.

Sem dúvida, os projetistas são a força principal atrás da forma do produto pronto e do seu posterior uso. As decisões tomadas nesse estágio de desenvolvimento afetarão a quantidade e a qualidade dos materiais utilizados, os gastos energéticos, os resíduos gerados, além dos fatores tradicionais de função, custo, etc.

MUDANDO O PROCESSO DE PROJETAR

O processo de projeto é responsável por muitas mudanças que atingem a sociedade. Projeto no sentido do *design*, em inglês, é algo que define soluções para problemas novos, ou, então, cria um produto ou um processo que satisfaça a demanda da sociedade. Por exemplo, se uma área fechada demonstra claridade inadequada, então é projetado um sistema de iluminação artificial, ou meios para proporcionar o uso da iluminação natural para suprir as necessidades de luz.

Qualquer processo de projetar precisa contemplar os seguintes passos:

- reconhecimento de necessidades, a identificação do serviço a ser prestado e as limitações e restrições para tanto;
- seleção e definição do produto ou processo a ser desenvolvido, para atender ao serviço a ser prestado;
- desenvolvimento de um projeto conceitual;
- avaliação de vários modelos desenvolvidos, considerando as interações entre fabricantes, fornecedores e usuários, além do *marketing* e aceitabilidade do produto ou processo;
- desenvolvimento de um projeto detalhado, considerando todos os fatores pertinentes;
- comunicação do projeto.

Entretanto, o projeto, hoje, precisa analisar e sintetizar muito mais do que jamais visto antes. Para poder projetar algo, custos e função não são suficientes, e precisamos saber o máximo possível sobre o comportamento previsto do produto e dos usuários durante todo seu ciclo de vida. Em face desta realidade, é fundamental utilizar os processos de análise para simplificar o mundo real através de modelos e de síntese para poder juntar elementos num todo (Dieter, G. E. *Engineering Design*, First Edition, 1986). Análise e síntese permitem tomar decisões num contexto em que há relações complexas e decisões interligadas, de tal forma, que muitas entram em conflito e somente se resolvem através de trocas de vantagens e desvantagens (*trade-offs*).

Portanto, é preciso agrupar o número crescente de variáveis de projeto que deveriam ser consideradas. As variáveis genéricas básicas são:

- função;
- aparência/estilo;
- custo.

Por função podemos identificar a satisfação da necessidade básica do usuário ou da sociedade. Função pode ser associada também o conforto e conveniência. A questão de aparência e estilo não é somente o caso de se criar formas que satisfaçam esteticamente

o cliente, mas podem ser elementos orientados para destacar o produto no mercado. A luta por ser único é forte no mercado mundial. O que vale dizer que custo baixo é essencial para competir no mercado. Mais adiante veremos, repetidamente, que custo baixo é também uma importante variável de projeto ambiental.

Outras variáveis, geralmente consideradas no projeto de produtos, são:

- qualidade e durabilidade;
- fatores de segurança;
- facilidade da manufatura;
- processos de montagem e desmontagem;
- disponibilidade de materiais, equipamentos e componentes;
- facilidade de manutenção;
- confiabilidade;
- vida útil;
- conformidade com os regimentos legais;
- responsabilidade legal;
- impactos ambientais.

Tradicionalmente, a variável impacto ambiental inclui apenas os resíduos gerados no processo produtivo e, mais recentemente, no descarte do produto após uso. A lista citada destaca a abrangência de considerações importantes para o projeto de produtos e processos, porém é necessário agrupá-los e organizá-los. Estas considerações foram organizadas através da classificação em grupos de uso sistemático como variáveis. Autores como Graedel e Allenby (1995) utilizam uma forma simplificada chamada de Projeto para X (ou Design for X-DfX), onde X pode ser substituído por uma série de “variáveis”.

Assim, além das variáveis clássicas mencionadas, juntou-se a busca de qualidade de serviço e de produção, que incluem:

- **DfA:** (Assembly) – Facilidade de **montagem**, uso de peças padronizadas, etc.
- **DfM:** (Manufacturability) – Como o projeto pode facilitar a própria **manufatura** do produto.
- **DfT:** (Testability) – Projeto que leva em conta a fase de **testes** e a integração de componentes complexos.
- **DfS:** (Serviceability) – Projeto que facilita a instalação. Além de **manutenção**, reparo e modificação futura.
- **DfR:** (Reliability) – A consideração da **confiabilidade** do produto perante os problemas de cargas eletrostáticas, corrosão, resistência a ambientes variáveis, etc.
- **DfSL:** (Safety and Liability Prevention) – Projeto dentro dos padrões de segurança para prevenir acidentes e questões de responsabilidade legal. (Graedel e Allenby, 1995)

Mais recentemente a questão ambiental passou a ter uma inserção mais sistêmica no projeto, e novas variáveis são consideradas e agrupadas em:

- **DfE:** (Environment) – Projeto para o Meio Ambiente;
- **DfR:** (Recycling) – Projeto para reciclagem;
- eficiência energética;
- seleção e uso de materiais;
- transportes utilizados;
- armazenamento e embalagens.

Com base, em parte, nas críticas de uma abordagem bastante incremental, essas mesmas variáveis, e outras, podem ser consideradas dentro de um macrocontexto de projeto. Assim, cria-se uma hierarquia de estratégias de projeto que especifica quando aplicar conceitos e modificar o resultado final. Portanto, diferentes rotas “*design wheels*” foram desenvolvidas com a finalidade de ajudar o processo de síntese.

PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE

Projeto para o Meio Ambiente pode ser considerado, então, a aplicação de diferentes fatores de projeto, de forma hierarquizada, visando reduzir impactos ambientais e custos, fomentando a eficiência. A estrutura apresentada do DfE, ou *ecodesign*, segue mais ou menos o esquema apresentado e utilizado por Five Winds International and Associates (<http://www.fivewinds.com>) e Ralf Nielsen, de Nielsen Design Consulting (ver Figura 6.3).

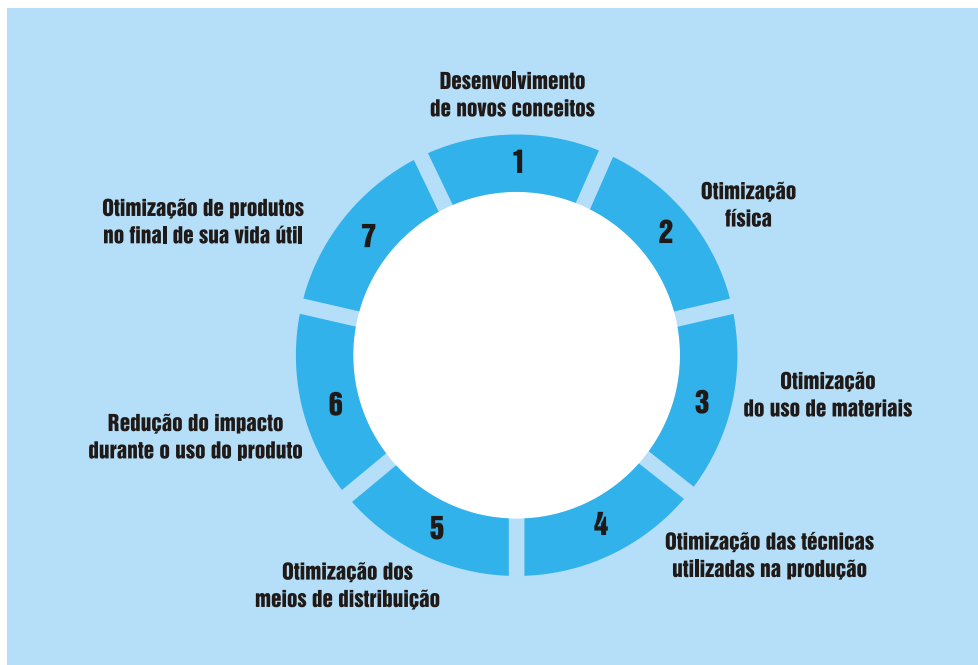


FIGURA 6.3 – ROTAS DE PROJETO – DESIGN WHEELS

Com base na estruturação da Figura 6.3, fica claro que o Projeto para o Meio Ambiente inicia-se com o *Desenvolvimento de Novos Conceitos* (1), para resolver o problema em questão. Nesse estágio, qualidades essenciais são a criatividade e a capacidade de ver antigos problemas de um outro modo.

Considera-se, nesta etapa:

- desmaterialização;
- mudança para serviços;
- partilhamento de equipamentos.

A segunda consideração do projeto é a *Otimização Física* (2), que tem como primeira prioridade o aumento da vida útil do produto, incluindo também os seguintes fatores:

- a integração das funções;
- a otimização das funções do produto;
- o aumento de confiabilidade e durabilidade;
- a facilidade de manutenção e reparo;
- a estrutura modular do produto;
- as fortes relações com quem utiliza o produto.

Em seguida vêm as tentativas de *Otimização do Uso de Materiais* (3):

- redução de materiais;
- materiais mais limpos;
- materiais renováveis e abundantes;
- materiais energeticamente eficientes;
- materiais reciclados;
- materiais recicláveis.

Ao mesmo tempo, é importante considerar a *Otimização das Técnicas Utilizadas na Produção* (4). O projeto do produto pode afetar o tipo de processo utilizado e assim gerar impactos ambientais. No geral, a produção deve minimizar o uso de materiais, evitar os compostos perigosos, fornecer alta eficiência com poucas perdas e gerar poucos resíduos. Os processos produtivos devem ser cada vez mais eficientes, minimizando paradas e evitando taxas e multas associadas à conformidade regulatória. Para tanto, deve-se considerar:

- técnicas alternativas de produção;
- menos etapas na linha de produção;
- menos consumo de energia (ver Capítulo 7);
- fontes energéticas mais limpas;
- menos resíduos;
- menos insumos.

Uma importante consideração, que não é independente das outras aqui apresentadas, é a *Otimização dos Meios de Distribuição* (5), que precisam ser sistematizados e otimizados. Entre os fatores a serem considerados incluem-se:

- embalagem;
- modo de transporte;
- modo de armazenamento e manuseio;
- logística.

Reforçando o fato de que o DfE é uma abordagem associada a todo o ciclo de vida de um produto, precisamos incluir fatores de projeto que antecipem o que acontece fora do espaço físico da fábrica. Portanto, devemos considerar algumas das seguintes alternativas para se obter *Redução do Impacto Durante o Uso do Produto* (6):

- redução no consumo de energia;
- fontes de energia mais limpas;
- redução de insumos;
- insumos mais limpos.

Depois de considerar estes outros aspectos envolvidos no processo de projetar nossos produtos, devemos considerar alternativas de *Otimização de Produtos no Final de sua Vida Útil* (7). Como sempre, soluções para o fim do ciclo não são todas iguais, e assim são consideradas de forma hierárquica:

- reuso do produto;
- projeto para desmontagem;
- remanufatura de produtos;
- reciclagem;
- descarte final.

Então, considerações conceituais de projeto, hierarquizadas sob a ótica ambiental, podem levar a novas formas de resolver problemas. Portanto, precisamos revê-los mais detalhadamente para entender como trabalhar com variáveis ambientais no projeto.

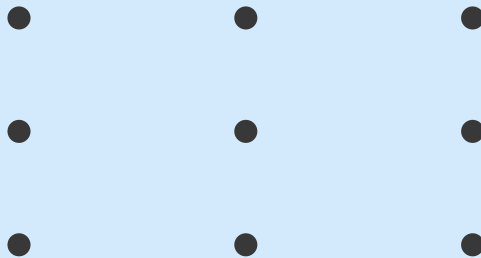
6.2 DESENVOLVIMENTO DE NOVOS CONCEITOS

Uma parte fundamental de qualquer projeto está associada ao processo de “pensar lateralmente”, ou pensar “fora da caixa”. Isso quer dizer: abordar um problema antigo de forma totalmente inovadora e, às vezes, requerendo mudanças até no contexto do problema, tanto quanto no problema em si. Tipicamente, no desenvolvimento do produto, este tipo de solução envolverá muitos atores na hierarquia da empresa, e fora dela.

São essas novas soluções que às vezes trazem “revoluções” na forma de atender a uma necessidade da sociedade. Um exemplo frequentemente citado é o uso de *e-mail* em vez da carta de papel. No caso, a necessidade de comunicação é resolvida sem os gastos materiais. Para a área industrial, a principal mudança de conceito necessário é o desvio de atenção do produto como objeto para o produto como um sistema, com um ciclo de vida que deve satisfazer os requisitos de todos os “clientes” atuais e subseqüentes.

Ao aluno:

Você conhece a famosa pegadinha abaixo?



Tente unir todos os pontos com 4 linhas retas sem levantar a caneta do papel.
E aí, quantas soluções você encontrou?

DESMATERIALIZAÇÃO

O conceito de desmaterialização leva a projetos que reduzem o tamanho do produto ao mínimo necessário, sem que sua aplicação seja comprometida. Outra possibilidade é identificar ou criar substitutos para produtos que resolvam uma necessidade sem o uso de materiais. Igualmente importante é a substituição de sistemas baseados no uso intensivo de energia, ou infra-estrutura.

É essencial, então, que os projetistas levantem em detalhe as necessidades dos possíveis usuários para realmente definir o produto ou serviço a ser oferecido. A partir disso, procura-se novas soluções. Atualmente, as tecnologias de informação e comunicação permitem novas perspectivas em problemas tradicionais.

A MUDANÇA PARA SERVIÇOS

Isto representa uma mudança radical na forma de uma empresa negociar os recursos oferecidos ao mercado. Num contexto novo, quando uma empresa fornece um serviço que um determinado produto presta, em vez do produto em si, ela assume a responsabilidade pela manutenção, reparo, reciclagem e qualquer disposição que seja necessária. Assim,

a empresa vende somente o serviço e não o objeto que fornece. O nível de controle envolvido nesse tipo de relacionamento permite que a empresa desenvolva sistemas muito mais eficientes.

Os tipos de benefícios promovidos são:

- informações atualizadas sobre as necessidades dos usuários;
- possibilidade de responder rapidamente às mudanças no mercado;
- mais controle sobre todo o ciclo de vida do produto;
- possibilidade de ter retornos não somente no uso do produto, mas também nas fases seguintes.

PARTILHAMENTO DE EQUIPAMENTOS

O uso de um produto por um conjunto de pessoas ou empresas tende a ser mais eficiente. Como foi visto anteriormente, os usuários pagarão por uma unidade de serviço utilizado, em vez de pagar para ser o dono do mesmo.

Isso permite ao projetista criar sistemas que:

- reduzam materiais e gastos energéticos;
- baixem custos de transporte;
- facilitem a reutilização e reciclagem do produto.

6.3 OTIMIZAÇÃO FÍSICA

Além dos aspectos relacionados à função, à estética, ao custo e a outros, tradicionalmente considerados pelos projetistas, no DfE devem ser incluídas considerações associadas à ampliação das funções do produto e de sua vida útil. Para esta finalidade, o projetista deve projetar as características físicas, as feições e os componentes, com o objetivo de agregar valor ao produto para o usuário.

Isso envolve não somente o estabelecimento de funções eficientemente adaptadas às necessidades do usuário, mas também um aumento na sua vida útil técnica, isto é, o tempo em que o produto funciona bem, e na sua vida estética, ou seja, o tempo em que o usuário considera o produto atrativo. É preciso, contudo, encontrar um equilíbrio entre essas considerações.

INTEGRAÇÃO DE FUNÇÕES

Combinando serviços e funções num único produto, podemos reduzir espaço e aumentar o uso de materiais.

Precisamos considerar, nesse caso, que pode haver um aumento também na complexidade do produto não somente para o usuário, mas também para o projetista.

No entanto, a integração de funções traz possíveis benefícios, como:

- uso mais eficiente de espaço;
- redução de materiais (desmaterialização) e redução em gastos energéticos;
- mais unidades de “serviço” por unidade de transporte.

OTIMIZAÇÃO DAS FUNÇÕES

Pode ser importante reunir funções num único produto, mas é igualmente importante identificar funções supérfluas e eliminá-las. É preciso descobrir quais são as funções primárias e as secundárias, e saber se são de natureza utilitárias ou estéticas.

AUMENTO DA CONFIABILIDADE E DURABILIDADE

São considerações até de certa forma tradicionais, mas que têm sua importância redobrada quando consideradas sob o enfoque ambiental. O objetivo é, por um lado, considerar todos os meios para aumentar a vida útil de produtos e, conseqüentemente, reduzir o uso de recursos naturais. Por outro lado, procura-se minimizar a ocorrência de acidentes ambientais provocados pela prematura falência de equipamentos, tais como tubulações transportando produtos químicos e veículos terrestres e marítimos despejando seus conteúdos no meio ambiente. Um dos maiores programas ambientais da história recente da indústria do petróleo no Brasil foca este assunto.

A questão da confiabilidade começa com a análise dos componentes funcionais para combater o desgaste que os produtos sofrem. A durabilidade refere-se à capacidade de um produto resistir aos danos causados pelo uso.

FACILIDADE DE MANUTENÇÃO E REPARO

Trata-se, também, de técnicas utilizadas para aumentar a vida útil de um produto e assegurar que a limpeza, a manutenção e o reparo sejam feitos no tempo certo e de modo apropriado.

A manutenção depende, freqüentemente, apenas de instruções claras e simples. Quando o produto é por natureza complexo, precisa de assistência especializada, que deve considerar:

- como o produto chega ao local do reparo;
- o perfil do profissional que fará o serviço de manutenção ou reparo;
- a facilidade de desmonte do produto;
- o desenvolvimento de uma estrutura modular.

Algumas estratégias para facilitar o reparo e a manutenção são:

- indicar de forma clara e simples, com etiqueta ou selo, como o produto deve ser aberto para limpeza ou reparo;
- indicar quais as peças que devem ser limpas ou submetidas à manutenção, usando para isso, por exemplo, diferentes cores;
- indicar as peças que devem ser freqüentemente inspecionadas;
- o projeto do produto deve deixar visível os efeitos de desgaste para que os reparos sejam feitos na hora certa;
- agrupar peças que têm desgaste relativamente rápido e deixá-las acessíveis para facilitar o reparo ou a troca;
- fazer com que os componentes mais frágeis possam ser desmontados com facilidade para conserto ou troca.

Programas como o Total Production Management (TPM) têm entre os seus pilares de implementação a Manutenção Autônoma. Este pilar foca a responsabilidade da manutenção corriqueira nas próprias equipes de operação, desenvolvendo uma relação salutar entre equipes de operação e os seus equipamentos.

ESTRUTURA MODULAR DO PRODUTO

Uma estrutura modular facilita a reformulação técnica e estética de um produto, evitando sua falência prematura. Permite sua atualização através da incorporação de novos componentes durante o seu uso, reduzindo a frequência de descarte e a necessidade de sua substituição.

Portanto, projetistas devem fazer produtos que permitam:

- atualizações;
- renovação de elementos técnica ou esteticamente obsoletos;
- fácil manutenção.

FORTES RELAÇÕES COM QUEM UTILIZA O PRODUTO

Os usuários precisam considerar o projeto atrativo, não só inicialmente, mas no seu uso e manutenção. Deve-se evitar que a vida útil psicológica do produto seja curta, para evitar seu desuso com mudanças de modos temporários. Portanto, o produto deve envelhecer de forma digna, aumentando-se o tempo em que os usuários o percebem como um produto de valor.

Pode-se fortalecer a relação entre produto e usuário das seguintes maneiras:

- criando um produto que faça mais do que o esperado pelo usuário;
- projetando uma superfície que envelheça bem;
- assegurando que a manutenção e o reparo serão processos fáceis e até agradáveis;
- assegurando que a manutenção possa ser feita com segurança e com um mínimo de ferramentas hiperespecializadas;
- agregando valor em termos de projeto e funcionalidade para que o usuário tenha receio em trocar o produto.

6.4 OTIMIZAÇÃO DO USO DOS MATERIAIS

CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DE MATERIAIS

Os materiais devem ser utilizados de forma eficaz, dadas as suas limitações. Os tipos de limitações freqüentes são:

- quantidades finitas – alguns metais existentes na Terra têm quantidades limitadas;
- combustíveis fósseis – são essencialmente não-renováveis, porque demandam um longo tempo de formação;
- taxas de renovação e uso – a madeira, por exemplo, pode ser um recurso renovável se administrada de forma correta.

A extração de materiais deve ser feita cuidadosamente porque os processos de extração freqüentemente causam grandes impactos ambientais. No geral, os materiais selecionados devem possuir as seguintes características:

- ser abundantes;
- não-tóxicos;
- não estar sob nenhuma restrição de uso.

REDUZIR USO DE MATERIAIS

Primeiramente, precisa-se projetar produtos e processos com uso mínimo de materiais. A melhoria de projetos de reforços e estruturas internas de produtos pode ser feita para resultar num produto mais eficiente.

Vista a questão estrutural, tentamos otimizar o volume e o peso dos materiais para utilizar menos energia durante a produção, transporte e armazenamento. Além de reduzir impactos, reduz-se consumo e aumenta-se a produtividade.

Redução de peso: esta é uma forma direta e simples de limitar o impacto ambiental – quando menos recursos são extraídos, menos resíduos são produzidos e menos impactos associados ao peso durante o transporte são causados.

Redução de volume (transporte): quando um produto e sua embalagem são reduzidos em tamanho e volume, mais produtos podem ser transportados mais eficientemente num determinado modo de transporte. Deve-se considerar, nos projetos, produtos e embalagens dobráveis que possam ser empilhados e desmontados para serem reusadas.

MATERIAIS MAIS LIMPOS

Materiais tóxicos como metais pesados e solventes orgânicos e radioativos devem ser evitados, porque eles introduzem sérios riscos em todas as fases de um processo ou produto: produção, transporte, armazenamento, uso e disposição.

Materiais tóxicos: além de substâncias proibidas localmente e em acordos internacionais como os Poluentes Orgânicos Prioritários (POP), halons, CFC e HCFC, devem ser incluídos em listas de substâncias a serem evitadas dentro da fábrica e pelos fornecedores o mercúrio, o chumbo, os VOCs e o PVC (cloreto de polivinil).

Convém conhecer os avanços conseguidos por programas governamentais desenvolvidos com este propósito. Sejam voluntários, como o programa 33/50 da USEPA - (<http://www.epa.gov>), ou compulsórios, como o Toxics Release Inventory (TRI), da mesma agência. Destaque-se, ainda, o Programa de Redução do Uso de Substâncias Tóxicas (TURI), do estado de Massachusetts, nos EUA (<http://www.turi.org>).

MATERIAIS RENOVÁVEIS E ABUNDANTES

Materiais renováveis são substâncias originadas de uma planta, animal ou ecossistema que têm a capacidade de se regenerar.

Portanto, os materiais renováveis:

- não serão exauridos se forem gerenciados corretamente;
- podem reduzir emissões de CO₂ se comparados com combustíveis fósseis;
- geram resíduos biodegradáveis;
- geram emprego local através de plantações locais.

No entanto, é necessário se comparar o ciclo de vida inteiro, porque em certos casos fatores como consumo energético podem contra-indicar seu uso. Materiais plásticos podem ser menos impactantes do que papel em certas funções.

Questão para reflexão:

- O que você acha do uso de sacos plásticos x sacos de papel, nas compras em supermercados?

Autores como Graedel e Allenby (1995) sugerem, no caso de recursos não renováveis, a consideração da sua disponibilidade em escala mundial e os impactos referentes aos processos de extração. Na Tabela 6.1 eles apresentam uma visão geral da disponibilidade de alguns elementos no planeta.

TABELA 6.1 – LIMITAÇÕES GLOBAIS DE RECURSOS MATERIAIS		
Abundância de elementos na crosta terrestre superior		
Abundante	>0.1 %	Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Si, Ti
Comum	>100 ppm	Ba, Mn, P, Rb, Sr, Zr
Relativamente comum	10-99 ppm	Cr, Cu, Ga, Li, Ni, Pb, Sc, V, Y Zn
Não comum	1-9 ppm	B, Be, Co, Cr, Th, U
Raro	<1 ppm	Ag, Au, Hg, Pt, Sb
Traços de metais recuperados como subprodutos		
Reservatório		Traços metálicos
Al		Ga
Cu		As, Se, Te
Pb		As, Bi
Pt		Ir, Os, Pa, Rh, Ru
Zn		Cd, Ge, In, Th
Zr		Hf
Classes de suprimento de elementos		
Suprimento infinito		Br, Ca, Cl, Kr, Mg, N, Na, Ne, O, Rn, Si, Xe
Suprimento amplo		Al, (Ga), C, Fe, H,K, S, Ti
Suprimento adequado		I, Li, P, Rb, Sr
Suprimento potencialmente limitado		Co**, Cr*, Mo (Rh), Ni**, Pb (As, Bi), Pt (Ir,Os,Pa,Rh,Rn)* , Zr (Hf)
Suprimento altamente limitado		Ag, Au, Cu (As, Se, Te), He, Hg, Sn, Zn (Cd, Ge, In,Th)

Fonte: Graedel e Allenby, 1995.

* Sujeito a controle cartorial por se encontrar quase que exclusivamente na África do Sul e no Zimbábue.

**A manutenção do suprimento exige exploração do fundo marinho.

MATERIAIS ENERGETICAMENTE EFICIENTES

Materiais provenientes de processos eficientes de extração, processamento e refinamento devem ser preferidos. Normalmente, a redução do número de passos ou etapas no processo produtivo limita os gastos energéticos.

Às vezes é necessário maior gasto de energia no processo de fabricação para criar produtos tecnicamente mais apropriados e que, portanto, possam reduzir outros gastos na fase de uso. Precisa-se comparar a demanda de energia com as qualidades finais de durabilidade, firmeza, resistência a calor ou desgaste. Tendo-se estas qualidades em mente, procura-se escolher os materiais com a menor energia embutida possível.

MATERIAIS RECICLADOS

Sempre que possível, devemos usar material reciclado em lugar de extrair material virgem, deixando-o em forma reciclável após o seu uso. Materiais reciclados são utilizados quando estão disponíveis e na forma apropriada, porque são menos impactantes e menos caros do que materiais novos. O potencial de reciclagem dos materiais varia. Por exemplo:

- metais são freqüentemente recicláveis;
- madeira e produtos de papel são, às vezes, recicláveis, mas a qualidade decai a cada nova reciclagem (porque o comprimento da fibra diminui);
- alguns plásticos são recicláveis, outros não;
- materiais heterogêneos geralmente não são recicláveis.

Também deve-se considerar os benefícios de uso de materiais reciclados disponíveis, notando alguns pontos relevantes:

- a implementação de um programa de coleta nas empresas gera materiais de custo reduzido;
- o uso de materiais reciclados geralmente reduzirá a energia gasta no produto em seu ciclo de vida;
- normalmente, a fase de extração é responsável por grande parte dos gastos energéticos;

- podemos aproveitar as qualidades inerentes dos materiais reciclados, como a variação de cor e a textura.

As principais fontes de materiais reciclados são:

- materiais industriais fora de especificação, provenientes do próprio processo industrial e não utilizados;
- materiais pós-consumidos, recuperados depois do uso, num contexto industrial ou residencial.

MATERIAIS POTENCIALMENTE RECICLÁVEIS

Na falta de fontes de materiais disponíveis para reciclagem é interessante especificar aqueles que podem ser facilmente reciclados, a partir da existência de uma infra-estrutura de reciclagem funcionando ou prestes a funcionar.

Para tanto, é necessário:

- identificar quais são os materiais que são recicláveis;
- descobrir o estágio atual do sistema de coleta e reciclagem;
- garantir que o material, quando reciclado, terá uma qualidade apropriada.

O projeto do produto pode auxiliar no processo de reciclagem, portanto:

- selecione somente um tipo de material para o produto;
- deve-se trabalhar com materiais compatíveis, se não for possível trabalhar com um determinado material;
- evite contaminar metais com outros metais;
- evite materiais compostos que são difíceis de separar, como laminados;
- escolha materiais recicláveis que existam no mercado;
- evite elementos que atrapalham o processo de reciclagem, como adesivos, colas e componentes de difícil separação.

6.5 OTIMIZAÇÃO DAS TÉCNICAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO

O Capítulo 3 deste módulo aborda bem as alternativas de técnicas para redução de poluição que podem ser utilizadas em processos produtivos.

6.6 OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Projetos podem assegurar que os produtos sejam transportados da forma mais eficiente possível quando consideram o ciclo de movimento do produtor ao distribuidor, ao varejista e ao usuário final. Essas redes de movimento envolvem:

- embalagem;
- transporte;
- armazenamento;
- logísticas.

No geral, devemos utilizar a menor quantidade de embalagem possível, escolhendo também a mais limpa e reutilizável. O sistema de transporte também deve ser programado de forma eficiente, para evitar gastos energéticos.

EMBALAGEM

As embalagens são usadas, principalmente, para proteger os produtos e para torná-los atraentes. Entretanto, as embalagens podem contribuir significativamente para o impacto ambiental. Elas compõem, por exemplo, 30% dos resíduos sólidos em algumas localidades (Graedel e Allenby, 1995).

Devido à sua função de proteger o produto, a seleção ou projeto da embalagem deve ser dependente das condições de transporte a que o produto será submetido. Frequentemente a questão de proteção do produto é superestimada e as embalagens são feitas com excesso de material, que pode ser reduzido sem comprometer esta função.

Algumas soluções podem ser tratadas somente pelos fornecedores de embalagens; outras requerem uma cooperação entre fornecedores e distribuidores.

Alguns objetivos do Projeto para o Meio Ambiente para embalagens (em ordem decrescente de redução de impacto ambiental) são:

- nenhuma ou uma quantidade mínima de embalagem. Esta opção envolve a redução ou eliminação do excesso de proteção, decoração, etc.;
- embalagens retornáveis e/ou reutilizáveis com um sistema de devolução entre as partes envolvidas;
- embalagens recicláveis e/ou produzidas com material reciclado;
- redução de volume;
- se a embalagem tem função principalmente estética, tente usar um estilo simples;
- para facilitar o processo de reciclagem os materiais não devem conter substâncias tóxicas, pigmentos e materiais inseparáveis.

TRANSPORTE

Transporte por terra, água e ar pode causar, cada um deles, significantes impactos ambientais. Estes podem ser classificados em duas categorias:

- Operações normais. Por exemplo, o gasto de energia no uso de veículos e equipamentos e suas emissões correspondentes.
- Operações irregulares. Por exemplo, lançamento acidental de substâncias tóxicas ou perigosas durante eventos, como descarrilhamento de trem e derramamentos de óleo de navios.

As preocupações ambientais, quanto à questão do transporte, estão relacionadas:

- à distância percorrida;
- ao tempo de duração da viagem.

Nos processos em que são utilizadas substâncias tóxicas ou perigosas os riscos de lançamentos acidentais podem ser bastante reduzidos se estas substâncias forem produzidas o mais próximo possível do local onde serão utilizadas, em vez de num local distante, que exija transporte.

Geralmente pode-se atingir maiores reduções de impactos através de um programa de redução de gastos energéticos no transporte. Na escolha do meio de transporte, considera-se preço, volume, confiabilidade, tempo de entrega e distância.

Definidas estas variáveis, compara-se as várias modalidades de transporte e se avalia os seus respectivos impactos ambientais. Processo semelhante deve ser exigido dos fornecedores para todos os estágios do processo produtivo.

ARMAZENAMENTO

A depender da indústria e dos produtos armazenados, as operações de armazenamento podem se constituir em um dos focos de impacto ambiental mais relevantes. É o caso, por exemplo, do armazenamento de compostos voláteis na indústria de petróleo e petroquímica. Nesta indústria, mesmo nas operações de rotina, as principais emissões de VOCs estão relacionadas a carga, descarga e armazenamento. Esse aspecto assume uma dimensão muito maior quando se trata de substâncias de alta toxicidade e periculosidade. Nesses casos, devem ser realizados esforços especiais na logística de fornecimento e movimentação, de forma a se reduzir ao máximo a necessidade de armazenamento.

As formas de armazenagem também podem levar a outras preocupações ambientais. Por exemplo, alguns produtos devem ser mantidos em condições especiais – ambiente quente ou frio, pressurizado ou a vácuo –, e recursos de energia são usados para manter tais condições. Portanto, deve-se adequar às condições de armazenamento para reduzir gastos desnecessários. Por exemplo, sistemas de armazenamento de calor podem ser usados acoplados a coletores de energia solar, para que o recurso solar continue provendo calor, mesmo sem a presença do sol.

LOGÍSTICA EFICIENTE

O estudo cuidadoso de rotas de entrega para otimizar o tempo gasto e as distâncias percorridas pode reduzir significativamente os impactos do sistema de distribuição. Poderíamos considerar:

- motivação do pessoal que lida com os fornecedores para que estes incentivem os fornecedores a reduzir distâncias;
- introdução de formas eficientes de distribuição, como entrega simultânea de maiores quantidades de produtos;

- utilização de embalagens padronizadas;
- utilização de programas computadorizados de otimização de rotas;
- uso de fornecimento *just-in-time* (produção sem estoque) com recipientes reutilizáveis e retornáveis;
- redução da distância entre os depósitos e a linha de produção; e, melhor ainda, entre os fornecedores e a fábrica.

6.7 REDUÇÃO DO IMPACTO DURANTE O USO

Muitos produtos consomem quantidades consideráveis de energia, água e outros insumos durante sua vida útil. Além disso, recursos utilizados para manutenção e reparo podem magnificar os impactos ambientais. Portanto, deve-se dar a devida atenção aos impactos ambientais associados com o uso dos produtos.

REDUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA E FONTES DE ENERGIA MAIS LIMPAS

A importância do consumo de energia na composição do impacto ambiental de produtos e processos impõe mais detalhes para sua abordagem. Isso será feito no Capítulo 7 deste módulo.

REDUZIR INSUMOS E UTILIZAR INSUMOS MAIS LIMPOS

No projeto de produtos deve-se procurar alternativas que conduzam a um menor consumo de insumos durante a sua vida útil, tais como: água, óleo, filtros, detergentes, etc. Isso foi analisado na unidade de Minimização de Resíduos, mas convém aqui lembrar que projetos inadequados são muitas vezes responsáveis por dificuldades encontradas para reduzir o uso de insumos durante a operação.

Na indústria de processo, por exemplo, as plantas são projetadas para transportar dois ou três tipos de água (clarificada, desmineralizada, potável) e um único, ou no máximo dois, tipos de efluentes. Isso dificulta a implantação de sistemas de reuso e reciclagem da água, encarecendo os esforços para minimizar o uso deste importante insumo.

Projetistas e fornecedores devem coletar informações para reduzir o impacto de insumos e produtos auxiliares.

Freqüentemente, existe diferença entre o uso indicado pelo fabricante e o uso dado pelo operador. Alguns cuidados podem facilitar um uso mais eficiente do produto:

- projetar de forma que o uso seja fácil, incluindo instruções claras;
- projetar de forma a dificultar o desperdício de insumos ou energia por parte dos usuários;
- inserir mecanismos de medição e calibragem que permitam monitorar e racionalizar o consumo dos diversos insumos utilizados no processo produtivo.

6.8 SISTEMAS PARA O FINAL DO CICLO DE VIDA

Esgotadas as possibilidades até aqui consideradas no projeto, é muito provável que o nível de desenvolvimento atual da tecnologia e dos padrões de consumo nos obrigue a pensar em um destino “final” para algumas partes ou componentes do produto.

Mesmo assim, convém considerar esta etapa não apenas no sentido de minimizar o impacto sobre um determinado corpo receptor, mas visando ao maior aproveitamento possível, seja ele imediato ou no futuro. A lógica de aumentar a eficiência do uso dos recursos naturais se mantém, mesmo que envolvendo interações de prazos maiores.

A reinserção de efluentes líquidos no ciclo natural das águas deve ser procurada considerando os aspectos tanto econômicos como de segurança. Se o projeto do processo ou produto leva em consideração a inserção final de algumas de suas partes nos ciclos naturais, haverá condições de se fazer isso com maior segurança.

A exclusão de compostos biorresistentes e tóxicos permite o aproveitamento de outros compostos orgânicos como insumos na lavoura ou no reflorestamento. As pressões de grupos ambientalistas no sentido da exclusão de plásticos contendo cloro, como o PVC, apontam para a possibilidade de um aproveitamento térmico sem o risco da emissão de dioxinas e furanos.

Os avanços esperados com o crescimento da prestação de serviços, em vez da venda de produtos, têm sentido na medida em que isto obriga as empresas a pensar sua produção na forma de ciclos fechados.

Assim, o projetista deve considerar vários possíveis cenários no final da vida do produto. Entre eles:

- é possível reutilizar o produto/os componentes/as peças?
- pode-se remanufaturar as peças/componentes e depois reutilizá-los?
- é possível reusar as peças para reciclagem de material?
- as peças podem ser incineradas seguramente?
- algumas peças devem ir para aterros sanitários ou industriais?

Aos alunos:

O próprio conceito de aterro final merece uma revisão. Os aterros não devem ser considerados como um espaço de confinamento final, mas como um local de armazenamento provisório, enquanto as tecnologias ou a demanda pelos materiais estocados não permitam ou justifiquem economicamente seu aproveitamento. Isso obriga a se pensar em mecanismos para se passar informações para o futuro, no sentido de tornar viável, em prazos mais curtos, o reaproveitamento dos compostos depositados.

REUSO

O melhor projeto permite que o produto seja reutilizado quase por completo, para a mesma aplicação ou para uma outra diferente. Quanto mais o produto mantiver sua forma original melhor, do ponto de vista ambiental. Esse conceito, obviamente, depende da existência de programas de devolução e reciclagem.

O reuso depende da:

- vida útil técnica, estética e psicológica;
- existência de mercado secundário para produtos usados;
- infra-estrutura de manutenção e reparo.

O projeto de produtos deve, ainda:

- prolongar a vida útil;
- ser o mais útil/agradável para usuários sucessivos;
- usar tecnologia confiável e componentes de qualidade para manter o valor do produto;
- prever limpeza, manutenção e atualização.

PROJETO PARA DESMONTAGEM

Para otimizar o final do ciclo de vida de um produto é importante considerar a previsão do desmonte, levando em consideração fatores como a vida útil das peças/componentes, sua padronização, requisitos de manutenção e instruções para manutenção e remontagem. No geral, os projetistas devem tentar:

- usar juntas destacáveis em vez de soldadas ou coladas;
- usar juntas padronizadas para que o produto possa ser desmontado com poucas ou uma única ferramenta comum;
- posicionar as juntas para que não seja necessário virar ou movimentar o produto para desmonte;
- indicar no produto como abri-lo sem danos;
- posicionar as peças com desgaste parecido o mais próximo possível, para poder trocá-las simultaneamente;
- indicar no produto quais as peças que precisam de manutenção ou limpeza específica.

REMANUFATURA DE PRODUTOS

Muitos produtos ainda acabam no aterro sanitário, apesar de conterem componentes úteis. Frequentemente, esses componentes podem ser reutilizados, seja para os fins originais ou para outros. Portanto, o processo de remanufatura é importante para recuperar materiais e energia nas peças e estabelecer uma fonte confiável de peças ou componentes para novos produtos ou para reparo.

O que é importante nesse processo é:

- considerar o projeto de desmontagem;
- projetar de forma modular;
- projetar peças/componentes de fácil limpeza e reparo;
- indicar a composição das peças e seus devidos cuidados;
- considerar o processo de remanufatura no projeto original;
- considerar os requerimentos de transporte e embalagem para peças/componentes remanufaturados.

RECICLAGEM

A reciclagem, neste contexto, é uma das últimas considerações de DfE. No geral, a reciclagem é empreendida apenas se for menos danosa ao ambiente e mais econômica, quando comparada ao uso de outras fontes de materiais. Por isso, tanto na reciclagem quanto no reuso de materiais é importante considerar todos os impactos, particularmente de fatores que possam exceder o impacto causado pela utilização de materiais novos, como acontece com gastos no transporte para reciclagem.

No entanto, os processos de reciclagem são um componente muito importante do Projeto para o Meio Ambiente. Substâncias e equipamentos reciclados podem ser usados:

- em reciclagem primária – com a mesma finalidade com que foi usado originalmente (por exemplo, garrafas de vidro recicladas);
- em reciclagem secundária – aplicação menos nobre, como, por exemplo: pneus velhos podem ser desfeitos e reutilizados na fabricação de outros produtos de borracha;
- em reciclagem terciária – decomposição em material básico.

A reciclagem normalmente é mais efetiva quando implementada o mais cedo possível nos elos da cadeia industrial (*i.e.*, considerado na ordem decrescente de vantagens, é melhor reciclar ou reutilizar primeiramente o produto inteiro, depois cada uma de suas partes e, finalmente, seu material).

Vamos destacar algumas categorias importantes de materiais recicláveis:

- metais – São normalmente recicláveis, embora esta reciclagem seja dificultada se os metais forem impuros ou misturados com outros materiais;
- produtos florestais – São normalmente recicláveis, mas a qualidade do material reciclado é inferior a cada reciclagem (por exemplo, papelão reciclado produz papéis de baixa qualidade);
- plásticos – Alguns tipos, como os termoplásticos, são mais facilmente recicláveis, enquanto outros são mais difíceis ou perdem muito valor a cada reciclo;
- substâncias químicas – Às vezes são recicláveis, tendo que passar, porém, por processo de tratamento ou purificação.

Portanto, no projeto deve-se tentar facilitar o processo de reciclagem das seguintes maneiras:

- especificando materiais com mercado de recuperação existente ou emergente;
- integrando várias funções em um componente;
- reduzindo o número de materiais que compõem um produto, ou pelo menos considerando a compatibilidade dos materiais. Por exemplo: vidro/cerâmicas, plásticos, metais variados;
- considerando que materiais não similares não devem ser unidos de uma forma que dificulte sua separação. Por exemplo: parafusos são retirados mais facilmente do que soldas ou rebites;
- evitando o uso de elementos que interferem com o processo como adesivos;
- identificando materiais sintéticos com codificação padronizada;
- evitando o uso de materiais tóxicos e perigosos, porque a presença de tais materiais, até mesmo em quantidades reduzidas, dificulta a desmontagem, o reuso, a incineração e a recuperação de energia;
- considerando que se materiais tóxicos têm que ser parte do produto, estes devem ser concentrados numa área do produto para que possam ser retirados com facilidade.

6.9 O FUTURO: PROJETO SUSTENTÁVEL

Vimos até agora que os parâmetros básicos e mais citados de Projeto para o Meio Ambiente se baseiam nos resíduos – sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos – gerados nos processos produtivos ou no pós-consumo, tendo como desafio que estes sejam:

- eliminados;
- reduzidos em quantidade;
- reciclados;
- modificados através da substituição de alguns materiais e outras ações de modo a causar menos impacto ao meio ambiente.

Entretanto, a adoção de uma abordagem simples, do tipo DfE-Projeto para o Meio Ambiente, pode não ser o suficiente para se ter um “Projeto Sustentável”, ou seja, aquele que considere aspectos sociais, econômicos e ambientais. Podemos dizer também que as decisões sobre projetos de produtos têm que ser não só integradas, mas também abranger os vários estágios da vida do produto e do processo de projetar.

Voltando agora um pouco ao Fator 10 para redução de consumo, o que corresponde a diminuir em cerca de 90-95% o impacto ambiental decorrente das atividades humanas, podemos afirmar que não é provável se atingir esta meta através unicamente de melhorias incrementais no produto, sem contar, ainda, com a hipótese de que este fator de redução pode não ser suficiente para reverter o processo de degradação ambiental atual.

Dessa forma, apontamos outro caminho a ser adotado, que corresponde à classificação do “*processo de melhoria de Brezet*”, o qual descreve a “*melhoria incremental*” como sendo o primeiro estágio de uma escala de melhorias com tempos de atuação diferentes.

Depois da “*melhoria incremental*”, e numa escala de tempo mais prolongada, há o que Brezet chama de “*reprojeto do produto*”. Este seria um estágio que realmente incorpora um grande número de considerações ambientais de vez, num produto amplamente modificado.

Segue então o terceiro estágio, onde volta a se considerar a essência da função em questão, desencadeando-se o processo propriamente dito de “inovação na função”. O último estágio pode implicar na “inovação do sistema” e nos levar ao Fator 10, se neste processo for abordado não só a função do produto, mas também o contexto dela, incluindo a infra-estrutura e sistemas de organização.

FECHAMENTO

Ao relembrar o modelo apresentado “*design wheels*” – Rotas Tecnológicas discutido neste capítulo, verificamos que este apresenta uma estrutura de projeto que leva a atingir diferentes estágios de melhoria. Quando tomamos o exemplo do processo de desmaterialização, podemos verificar que este se baseia na análise da função do produto. No entanto, podemos concluir que é preciso considerar a questão do estabelecimento de um processo de inovação sistêmica, ou seja, a inovação que considere fatores de sustentabilidade, em vez de se limitar a implementar melhorias incrementais focadas exclusivamente no produto.

Dito isso, deixamos a discussão com as perguntas:

- A melhoria incremental e o Fator 10 são suficientes?
- Se forem, como vamos além do Fator 10?

CAPÍTULO 7

ENERGIA

Ednildo Andrade Torres

Universidade Federal da Bahia • UFBA • TECLIM

**“Aqueles que dominam a natureza
E buscam possuí-la
Jamais conseguirão,
Porque a natureza é um sistema
vivo, tão sagrado
Que, quem a usar de forma profana,
Certamente a perderá;
E perder a natureza
É perder a
Nós mesmos. ”**
TAO

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discutir a importância da energia nos diversos setores;
- Analisar as diferentes fontes, formas e possibilidades de conversão de energia;
- Discutir a viabilidade de medidas técnicas para melhoria do desempenho energético-ambiental;
- Avaliar o uso da energia do ponto de vista do desenvolvimento sustentável;
- Apresentar ao aluno a Exergia.

A proposta de adotar Prevenção da Poluição como princípio, implica considerar todos os aspectos que podem reduzir o impacto ao meio ambiente. Energia é um destes aspectos, pois está associada diretamente ao uso racional dos recursos naturais utilizados como fonte energética e aos impactos ambientais decorrentes do processo de produção e da forma de consumo adotada, tanto em setores industriais específicos como pela sociedade como um todo.

Assim sendo, neste capítulo abordaremos alguns pontos sobre a questão energética para que você possa fazer uma análise da situação atual no cenário mundial. Além disso, vamos apresentar alternativas de medidas e tecnologias que podem ser adotadas visando ao uso mais eficiente de energia no trabalho, na sua casa ou em qualquer outro local.

Vale salientar nesse momento que a energia, desde os seus primórdios, vem sendo fator de disputa entre as mais diversas nações, onde as guerras e, conseqüentemente, as conquistas têm trazido situações peculiares. A condição prévia de qualquer civilização é a energia. Por isso, tanto no passado, em que se utilizava a força animal e humana, quanto mais adiante, após o avanço das técnicas, quando se passou a utilizar os recursos naturais como o sol, o vento, as águas e as florestas, a energia sempre teve um papel destacado. Porém, com o crescimento da população, as necessidades energéticas passaram a ser cada vez mais concentradas e o modelo de desenvolvimento industrial adotado baseado na centralização da geração.

Esse modelo teve como base a transformação das fontes primárias, inicialmente a de carvão mineral e em seguida a do petróleo e seus derivados. Essa civilização foi forjada tendo como base, inicialmente, a máquina a vapor e depois os motores de combustão interna. Com o surgimento e o fortalecimento da indústria, houve a geração de empregos, paralelamente ao desenvolvimento da demanda de energia.

Atualmente, a população da Terra é superior a 5 bilhões de habitantes, sendo que cerca de 70% vivem nas cidades. Para exemplificar a escalada urbana, e conseqüentemente a concentração populacional, vejamos: no ano de 1900, apenas 11 cidades do mundo tinham população superior a 1 milhão de habitantes; em 1950, eram 75; em 1978, já eram 191; em 1985 o número passou para 273; e atualmente são mais de 350 cidades, sendo a maioria localizada em países do Terceiro Mundo.

Estamos vivendo uma fase de transição, em que a base ainda é a centralização da geração. Entretanto, já é uma realidade a participação da iniciativa privada na geração de energia, a contribuição dos autoprodutores, a introdução das alternativas e a conscientização do uso racional da energia.

O Brasil não diverge das grandes questões mundiais, tampouco as soluções empregadas seguem uma linha diferente. O nosso processo de industrialização também desencadeou uma crescente incorporação da energia como fator de crescimento, e, por outro lado, como fator limitante. Nas fábricas, possibilitou a produção em larga escala, gerando empregos, estimulando investimentos, proporcionando o desenvolvimento e o bem-estar da população.

O comércio acompanhou o processo industrial, o que acarretou a criação de novos empregos. Nas residências, esse vetor foi sentido com a introdução de eletrodomésticos, a popularização do uso do gás de cozinha, equipamentos de lazer, mudando os hábitos dos povos. Nos transportes, a utilização dos veículos automotivos, com a implantação das grandes montadoras, além das várias modalidades de transporte coletivo. Na agricultura, o processo de industrialização proporcionou maior produtividade, a mecanização agrícola, e em certos lugares contribuiu para a fixação do homem ao campo.

Na verdade, no ciclo que estamos vivendo, verifica-se a transição de uma ordem superada para a busca de um novo paradigma, e nele a energia deixa de ser só valorizada nos seus aspectos quantitativos para também ser enfocada numa perspectiva qualitativa, onde o que é fundamental não são só os grandes mananciais ou os fluxos energéticos, mas também a forma como a energia incorpora-se à economia, agregando qualidade aos produtos, reduzindo custos e, sobretudo, minimizando os impactos sobre o meio ambiente.

7.1 ENERGIA E MEIO AMBIENTE

A ciência define energia como a capacidade de realizar trabalho. Etimologicamente, a palavra “energia”, de origem grega, é similar ao termo. O trabalho é uma grandeza escalar conceituada na física como sendo o produto de uma força pelo deslocamento que ela provoca no sentido em que é aplicada. É oportuno lembrar que a ciência física utilizou nessa definição o mesmo termo “trabalho”, contudo este conceito já era existente, e de origem socioeconômica, portanto, atribuindo um significado particular (Bôa Nova, 1985).

O conceito atual de energia foi proposto pelo físico inglês Young, no início do século XIX. Muitos séculos antes, o Homem já observava e utilizava as diferentes formas de energia existentes na Natureza: a radiação solar, o fogo, os ventos, a lenha, posteriormente as quedas d’água e o movimento dos astros celestes. Há longo tempo, as pessoas e grupos familiares começaram a aprender como aproveitar a energia primária

para facilitar a vida, utilizando a natureza como fonte de suprimento, nas diversas formas apropriadas a satisfazer suas necessidades básicas: calor, cocção, movimento, iluminação, etc.

Para se entender a relação entre a utilização da energia e os impactos provocados sobre o meio ambiente é importante observar que o homem a transforma, a organiza para poder utilizá-la. Isto é, disponibiliza a energia de uma forma mais facilmente manuseável, podendo ser mais concentrada e mais disponível para uso imediato. Como exemplos citamos a transformação do petróleo e seus derivados, da lenha em carvão vegetal, do potencial hidráulico em hidroeletricidade. Mas para isso se paga um preço, as irreversibilidades, que têm tanto um componente ambiental como energético.

Nessa luta contra a “desordem” dissipa-se uma determinada quantidade de energia, que se perde para fora das fronteiras do sistema. Isso implica que se necessita de mais energia para ordená-la. De forma simplificada, as atividades econômicas não fazem nada mais que estruturar a matéria de modo a propiciar sua utilização pelo homem, e para isso exigem a incorporação de um aporte de energia externa. O grande problema é que existe uma contrapartida. As irreversibilidades ou perdas, que são transferidas sob a forma de energia degradada, são rejeitadas para o meio ambiente. Assim, a incorporação pelo homem da energia fóssil (petróleo, carvão mineral, gás) à produção de bens e serviços será acompanhada de perdas de matéria e energia para o meio externo, causando uma série de impactos ambientais (Odum, 1988).

Outrossim, além da emissão de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, o aproveitamento das fontes energéticas provoca impactos ambientais associados ao custo (econômico, social e ecológico) de oportunidade da utilização de recursos naturais. Estes impactos podem ser significativos, mesmo no caso do emprego de fontes renováveis de energia como a hidroeletricidade, a biomassa energética, a energia solar e eólica, pelas grandes áreas utilizadas para a produção energética em grande escala (na construção e na área de influência de grandes barragens, em florestas e plantações energéticas, na superfície ocupada por coletores solares e aerogerados).

Além dos impactos ambientais que acompanham a operação normal das instalações de produção e utilização da energia, as tecnologias energéticas podem provocar riscos

de acidentes, catástrofes e desvios de seu uso para outros fins. O caso da energia nuclear é sem dúvida o mais importante nesse campo devido aos problemas a ela associados: disposição de resíduos, desativação dos equipamentos (após o tempo de vida útil), contaminação e vazamentos.

Embora nenhuma emissão para o meio ambiente esteja associada com a operação de usinas de geração de eletricidade nuclear, os resíduos de combustível nuclear permanecem radioativos por milhares de anos, e, apesar de pequenos em quantidade, devem ser dispostos e gerenciados cuidadosamente, pois representam uma grande ameaça para o meio ambiente e para a humanidade.

No caso da hidroeletricidade, esta modifica a operacionalidade dos rios, inunda terras anteriormente agricultáveis ou utilizadas para outros fins, altera os ecossistemas e muda o microclima. E durante a construção das barragens são empregadas grandes quantidades de materiais, o que provoca impactos, desde a sua extração até a sua aplicação nas usinas.

Aos alunos:

Outras tecnologias energéticas que envolvem grandes riscos são: minas de carvão, campos de petróleo, refinarias, transporte de petróleo, etc. Pesquise os impactos provocados por estas tecnologias alternativas energéticas.

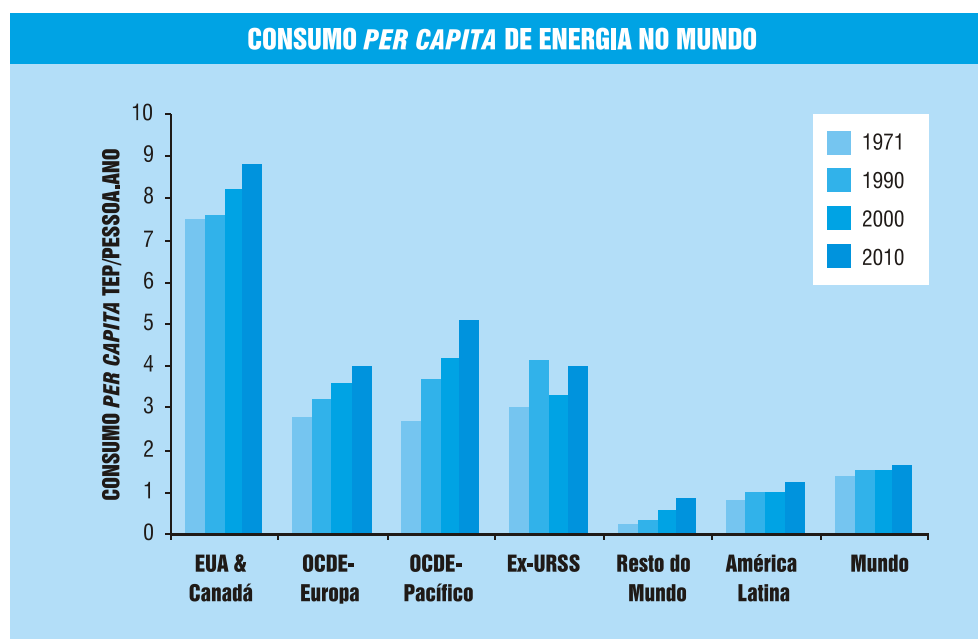
No primeiro capítulo deste módulo, para analisarmos as conseqüências dos problemas decorrentes de algumas atividades criativas, apresentamos a Equação Mestra do Impacto Ambiental. No caso específico do impacto ambiental provocado pelo uso da energia, convém fazer uma análise do consumo de energia no mundo.

7.2 CONSUMO DE ENERGIA NO CONTEXTO GLOBAL E NACIONAL

CONSUMO DE ENERGIA POR HABITANTE NO MUNDO

O consumo *per capita* de energia tem sido um dos indicadores que medem o desenvolvimento de um país. Quanto maior o consumo, maior o desenvolvimento da nação. Após sucessivas crises do petróleo e o conseqüente aumento dos preços, ocorreu uma retração do consumo. Já na década de 90, com as pressões dos movimentos ecológicos, houve um crescimento da conscientização ambiental. Nesse sentido, a preocupação com o consumo de energia passou a ser exercida pelos governos e em seguida pela sociedade organizada. Medidas de redução do consumo e campanhas educacionais fizeram com que o consumo de energia *per capita* deixasse de crescer nas mesmas taxas do passado.

Na Figura 7.1 são apresentados os valores do consumo de energia *per capita* para os diversos países ou regiões do mundo.



Fonte: Torres, 1999

FIGURA 7.1 – CONSUMO DE ENERGIA PER CAPITA NO MUNDO

Nela foram lançados os dados referentes aos anos de 1971, 1990 e 2000, assim como um cenário para 2010. Os valores representam toda a energia consumida no período, dividida pela população do país. A unidade de medida em que foram expressos os índices é a tep (tonelada equivalente de petróleo), ou seja, transformam-se todas as fontes de energia consumida em uma única, que equivale à energia produzida que pode ser extraída a partir de uma tonelada de petróleo.

Nos EUA e no Canadá, para o ano de 1990, o consumo *per capita* foi de cerca de 7,5 tep/habitante; enquanto para o ano de 2000, um consumo por habitante de 8,2 tep. O que representou um crescimento de 9,3% em uma década.

Para a América Latina, o consumo específico em 1990 foi de aproximadamente 0,9 tep/habitante; enquanto para o ano de 2000, cerca de 1,2 tep/habitante. Quando comparado com a média mundial, a América Latina não se encontra muito distante com relação ao consumo *per capita*. Porém, com relação aos EUA, a relação é de um para aproximadamente sete.

Com esses números podemos afirmar que o processo de desenvolvimento na América Latina está muito aquém dos países desenvolvidos. No entanto, o objetivo não é aumentar o consumo *per capita* de qualquer maneira, e sim buscar um desenvolvimento sustentável e equilibrado.

Particularizando, podemos estabelecer os índices para o Brasil, desagregando-os do que foi mostrado. Para isso utilizaremos os dados fornecidos pelo BEN (Balanço Energético Nacional). Para o ano de 1990, o consumo *per capita* foi de 1,18 tep/habitante e em 1995 foi de 1,28 tep/habitante. Sendo que em 1997 esse número cresceu para 1,317 tep/habitante e pelo BEM (2000) o valor aumentou para 1,55 tep/habitante. Portanto, quando comparado com a América Latina, o Brasil tem um consumo por habitante maior, condizente com o processo de desenvolvimento no país em relação aos demais da América Latina.

EXPECTATIVA DE VIDA X CONSUMO DE ENERGIA

Iniciaremos a discussão deste item apresentando a Figura 7.2, que mostra a correlação entre o consumo de energia e a expectativa de vida da população de alguns países.

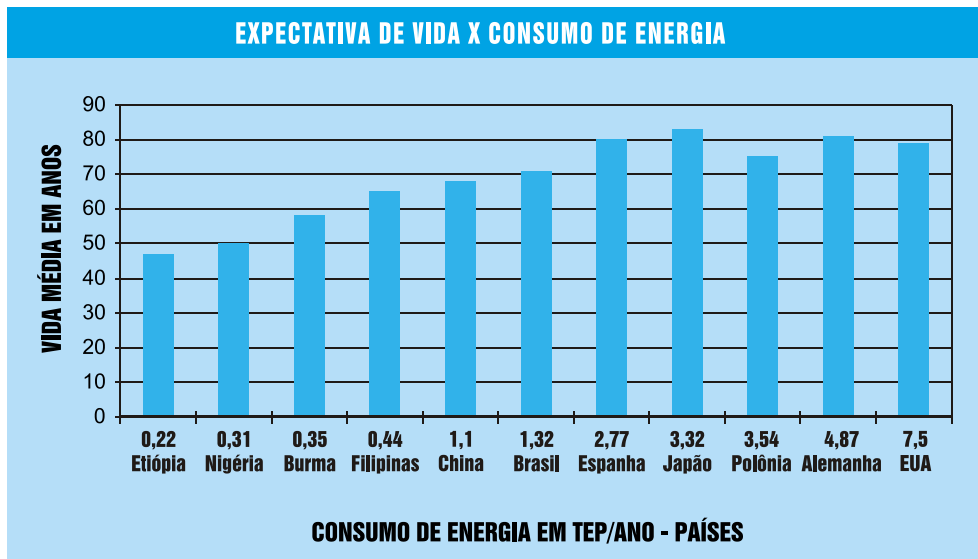


FIGURA 7.2 – EXPECTATIVA DE VIDA X CONSUMO DE ENERGIA (FONTE: TORRES, 1999)

O consumo de energia no *eixo x* é expresso em tep/ano e no *eixo y* é mostrada a expectativa de vida ou vida média dos diversos países, em anos. Observa-se que os EUA têm o maior consumo de energia *per capita*, com cerca de 7,5 tep/ano e uma expectativa de vida de cerca de 79 anos. Por outro lado, na Etiópia, o consumo *per capita* é inferior a 0,22 tep/ano e a expectativa de vida é menor do que 50 anos. Já no Brasil, onde o consumo *per capita* é pouco maior do que 1,3 tep/ano, a esperança média de vida de um brasileiro é de cerca de 70 anos. Maior consumo de energia indica a existência de mais indústrias, mais saúde, mais habitação, mais educação, mais empregos, e a condição social da população é refletida sob a forma de uma vida mais longa.

Portanto, podemos afirmar que quanto maior a renda *per capita*, maior é a vida média e o nível de vida da população, e maior seu consumo de energia.

Questão para reflexão:

- Que outras implicações você vê nisso?

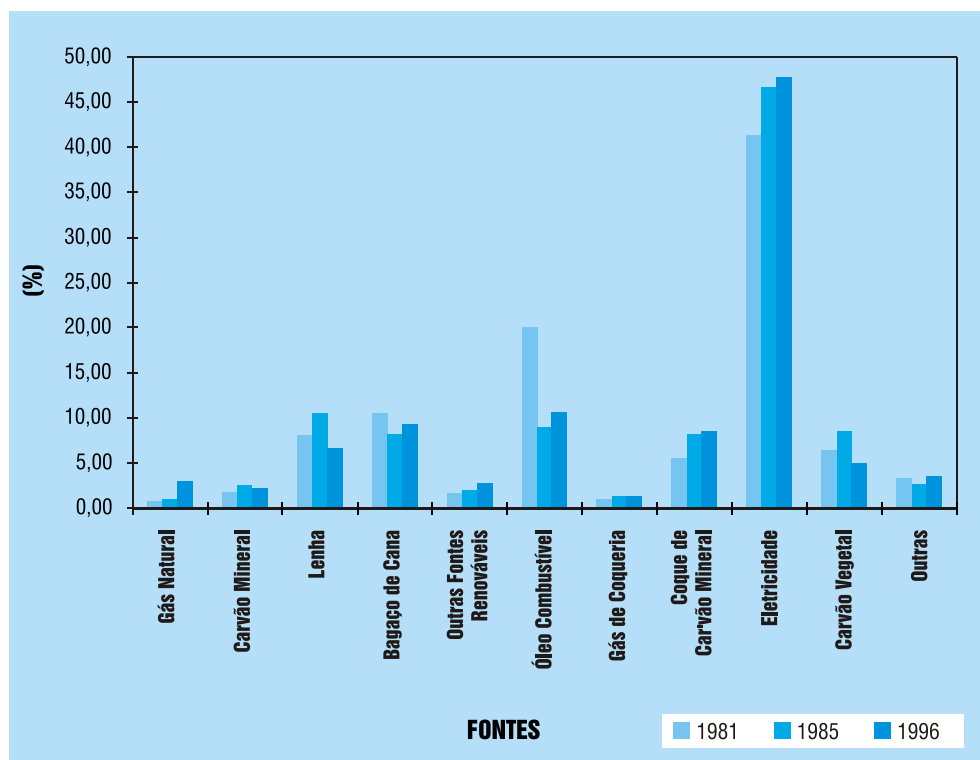
7.3 CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL

Segundo o Balanço Energético Nacional (2000), o setor industrial foi responsável por 37,4% do consumo nacional em 1999, seguido pelo setor de transporte, com 20,6%, e pelo setor residencial, com 15,9%. Esses números apontam para a importância da racionalização do uso da energia na indústria, assim como nos demais setores consumidores.

SETOR INDUSTRIAL

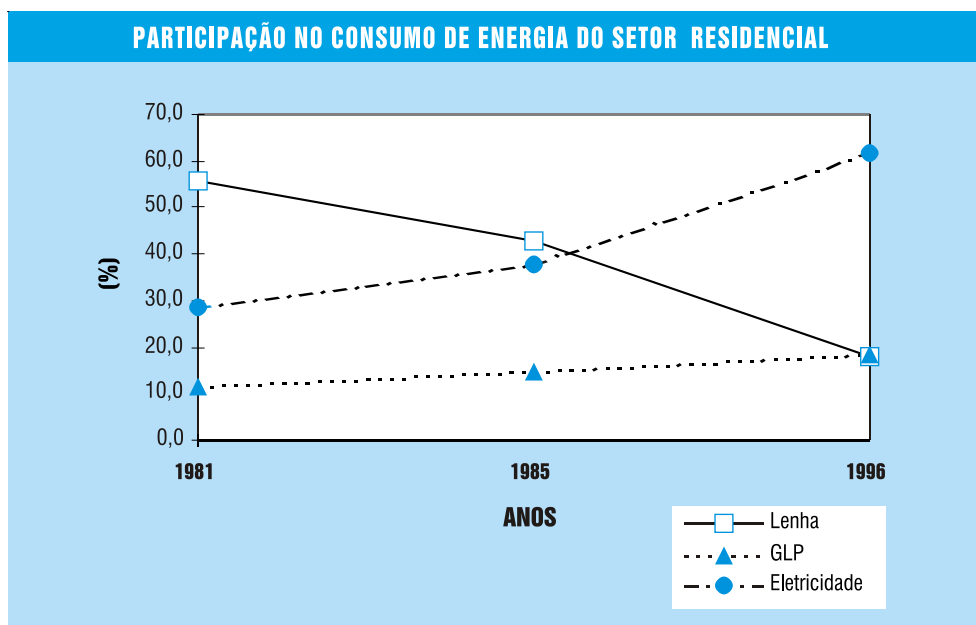
A indústria tem um grande peso no consumo de energia tanto no Brasil como no exterior. O setor industrial consome diversas formas de energia, dentre elas cita-se: gás natural, carvão mineral e vegetal, óleo combustível, eletricidade, etc.

Na Figura 7.3 pode-se verificar a participação das diversas fontes da energia consumida pelo setor industrial. Verifica-se que a eletricidade e o óleo combustível, juntos, têm atendido mais de 50% do consumo dos energéticos, sendo que em 1996 a parcela da eletricidade foi 47,7% e do óleo combustível de 10,6%.



Fonte: Balanço Energético Nacional, 1997.

FIGURA 7.3 – CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA POR FONTE, BRASIL 1981–1996

SETOR RESIDENCIAL

Fonte: Balanço energético nacional, 1997.

FIGURA 7.4 – CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR RESIDENCIAL POR FONTE, BRASIL 1981–1996

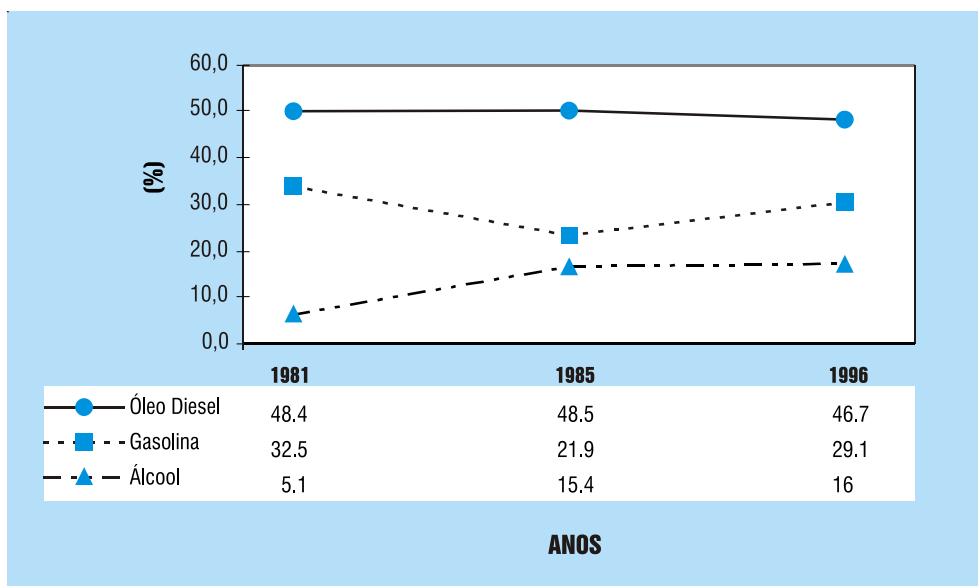
O setor residencial no Brasil tem uma participação importante no contexto da matriz energética brasileira. A lenha (biomassa) teve no passado uma importância fundamental.

No ano de 1981, no Brasil, a lenha participava com 55,5% do consumo de energia no setor residencial, enquanto a eletricidade contribuía com 28,4% e o GLP com 11,3%. Mas em 1996 a participação da lenha caiu para 17,9%, sendo substituída pelo GLP, que figurou com 18,5%, e pela eletricidade, com 61,8%. A Figura 7.4 mostra a evolução dos energéticos no setor residencial no Brasil.

SETOR DE TRANSPORTE

O setor de transporte é o segundo maior consumidor, perdendo apenas para o setor industrial. Os energéticos mais consumidos são o óleo diesel e a gasolina. Na Figura 7.5 observa-se que a gasolina em 1981 participava com 32,5% no consumo de energia,

o óleo diesel com 48,4% e o álcool com 5,1%, e os demais com 14%. Já em 1996 a participação foi de 29,1%, 46,7% e 16%, respectivamente. A grande mudança foi com a introdução do álcool etílico na matriz energética após o ano de 1981. Evidencia-se, ainda, a importância do setor de transporte coletivo de passageiros e de carga, consumidores de óleo diesel.



Fonte: Balanço Energético Nacional, 1997.

FIGURA 7.5 – CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR TRANSPORTE POR FONTE, BRASIL 1981–1996

Além desse contexto geral, outras especificidades caracterizam a realidade brasileira no que se refere ao seu consumo energético, como, por exemplo:

- a forte preponderância da geração de origem hidráulica no suprimento de eletricidade, com a maior parte do potencial hidroelétrico remanescente localizado em região de ecossistemas particularmente frágeis e de elevada biodiversidade, a Amazônia;
- a existência de importante segmento da indústria siderúrgica, em particular a produção de ferro-gusa e ferroligas, baseada no uso de carvão vegetal (como redutor e combustível), oriundo em sua maior parte de desmatamentos;

- a importância do álcool de cana-de-açúcar como combustível de automóveis, graças ao maior programa de biomassa renovável em todo o mundo;
- a má qualidade do carvão mineral brasileiro, com seus altos teores de cinzas e enxofre.

Estas especificidades e outros exemplos demonstram a necessidade de nossa política ambiental estar particularmente atenta às características da produção e uso da energia no país, assim como a importância crescente de uma adequada inserção da dimensão ambiental no planejamento energético brasileiro.

Aos alunos:

Tente dar sugestões para a redução do consumo de energia nos setores apresentados. Pense nas causas primeiro, é claro!

7.4 FONTES, FORMAS E CONVERSÃO DE ENERGIA

Agora que foi apresentado o contexto em que a questão energética se insere, é preciso considerar de que maneira se encontram os recursos energéticos para nosso uso. O objetivo disso é identificar a melhor forma de aproveitar energia para os fins que temos em mente.

Genericamente podemos dizer que o uso de energia envolve:

- produção das formas de energia utilizáveis através de processos de conversão de energia; transporte, distribuição e armazenamento de energia;
- utilização de recursos de energia e formas processadas de energia para produzir serviços e processar tarefas.

O conhecimento da finalidade a ser dada à energia deve ser conjugado com o conhecimento das suas fontes, formas e meios de conversão, para identificar a maneira mais eficiente e menos impactante para o seu aproveitamento. Deve-se lembrar, contudo, que transformações para se obter uma forma de energia apropriada ao uso final implica perdas.

Apesar de suas múltiplas formas, a energia se origina de apenas três tipos de interações fundamentais da natureza: gravitacional, eletromagnética e nuclear. Apenas três!

As fontes de energia, ou energia primária, provêm das interações anteriormente mencionadas, que são encontradas na natureza. Consideram-se formas de energia primária a energia solar, o potencial hidroelétrico, a biomassa, os combustíveis fósseis, a energia eólica e a geotérmica. Estas formas de energia possuem algumas interdependências.

ENERGIA SOLAR

A energia solar, por exemplo, é a mais importante para o homem. É vital para a vida na Terra, e dessa fonte energética derivam, indiretamente, várias outras formas de energia utilizáveis no nosso planeta.

A energia solar provém da fusão termonuclear, na superfície do Sol, de elementos leves, especialmente do hidrogênio, produzindo deutério e hélio. Como a massa total resultante é ligeiramente menor que a inicial, há nesse processo uma transformação dessa pequena diferença de massa em uma enorme energia, liberada sob a forma de calor, segundo a fórmula da teoria da relatividade restrita de Einstein: $E = m \cdot c^2$ (energia igual ao produto da massa relativística pelo quadrado da velocidade da luz).

Parte da energia produzida atinge a Terra sob a forma de radiação eletromagnética, especialmente à luz visível. Cerca de 30% dessa energia são refletidos de volta ao espaço pelas nuvens, por partículas na atmosfera e pela superfície terrestre. O resto é absorvido pela atmosfera e, principalmente, pela Terra, que uma vez aquecida reemite esse calor de volta ao espaço através dos ciclos hídricos, biológicos e dos ventos, conforme indica a Figura 7.6.

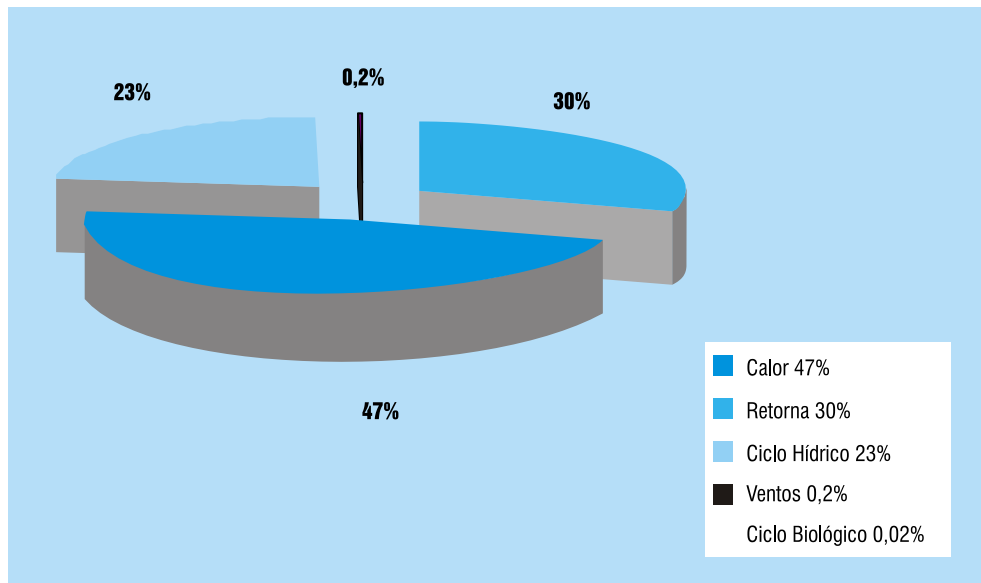


FIGURA 7.6 – ENERGIA TOTAL INCIDENTE NA TERRA

Como a temperatura da Terra é bem menor do que a do Sol, a frequência dessa radiação é também muito menor, possibilitando a absorção de parte desse calor por alguns gases que estão na atmosfera (o dióxido de carbono e o metano, por exemplo). Este fenômeno é na realidade o chamado “efeito estufa” – que nós já vimos no Capítulo 2. Graças ao efeito estufa a temperatura do nosso planeta subiu até atingir um nível equilibrado, o que permitiu o aparecimento e o desenvolvimento de formas cada vez mais complexas de vida. Recentemente, o excesso de emissões dos chamados gases estufa é que está produzindo indesejáveis mudanças climáticas.

Bom, vamos ver o que o Sol faz? Os vegetais crescem e se desenvolvem graças à fotossíntese, que é a assimilação da energia solar pela clorofila de suas folhas, transformando-a em matéria orgânica – a biomassa. A lenha e o carvão vegetal de florestas plantadas, o álcool e o bagaço da cana-de-açúcar, por exemplo, são combustíveis produzidos de forma renovável, graças ao fluxo de energia que recebemos do Sol.

Além disso, os chamados combustíveis fósseis – petróleo, gás natural e carvão mineral – são oriundos da decomposição da biomassa, ao longo de milhões de anos, pela ação de bactérias. Essa reação conduz a uma perda do oxigênio presente nos vegetais,

dando origem, de acordo com o tempo de decomposição, à formação de diversos tipos de carvões, como a hulha, o linhito e a turfa, por ordem de idade decrescente. O petróleo e o gás natural resultam da reação bacteriana de matéria orgânica sob condições especiais, transformando os hidratos de carbono em hidrocarbonetos, que em estado líquido ou gasoso se deslocam facilmente na crosta terrestre até serem aprisionados por rochas porosas.

É importante notar que os combustíveis fósseis constituem um estoque não renovável, pois o tempo de sua formação na Terra, da ordem de milhões de anos, é muito maior que a escala de tempo das atividades humanas. Outras fontes de energia que estão disponíveis na Terra de forma finita são: matéria orgânica parcialmente decomposta como turfa; urânio, etc.

A energia solar também é responsável pela evaporação da água na superfície de oceanos, lagos e rios. Conforme indica a Figura 7.6, 23% da energia incidente sobre a Terra são absorvidos no ciclo hidrológico. O vapor d'água resultante sobe à atmosfera e após certo tempo, tendo percorrido alguma distância, se condensa em gotas d'água, retornando à Terra como chuva e liberando calor no processo de condensação. Assim, a energia do Sol realimenta a energia hidráulica das quedas d'água, originada pela força de gravidade. Por se tratar de ciclos anuais, esta forma de energia é considerada renovável.

A diferença entre as quantidades de energia solar recebidas nas várias partes da superfície terrestre causa diferenças de temperatura e pressão, provocando ventos na atmosfera. Também contribuem para sua formação a energia cinética, o movimento de rotação da Terra e a atração gravitacional da Terra sobre a massa da atmosfera que a envolve. Portanto, a energia eólica resulta da energia solar e da energia gravitacional.

Também a partir dessas duas fontes os oceanos poderão (no futuro, pois hoje só temos projetos piloto para desenvolvimento das tecnologias necessárias, que de modo geral ainda são muito caras) fornecer energia de três tipos:

- das marés, provocada pelo movimento de rotação da Lua em torno da Terra, arrastando pela atração gravitacional a massa de água dos oceanos, fazendo variar a altura da superfície do mar, que pode ser usada próximo às costas;

- das ondas, provocada por efeitos combinados de movimentos do mar e dos ventos, que se atiram com a superfície dos oceanos;
- da diferença de temperatura entre a água da superfície, aquecida pela energia solar, e as águas mais profundas dos oceanos.

Pode-se, enfim, usar diretamente a energia solar como fonte energética, através de equipamentos especialmente construídos para captá-la, destacando-se:

Coletores planos. Capazes de aproveitar não só a radiação direta do Sol mas também a radiação difusa (única disponível em dias nublados) para aquecimento de água e do ar (na secagem de grãos, por exemplo).

Células fotovoltaicas. Para geração direta de energia elétrica, aproveitando o efeito fotovoltaico: a radiação solar direta desprende elétrons de materiais semicondutores (como o silício metálico, por exemplo), dando origem a uma corrente elétrica.

Coletores concentradores (cilíndrico-parabólicos, por exemplo). Estes são concentradores da radiação solar direta num único ponto, de forma a produzir calor em alta temperatura para vaporizar a água e gerar eletricidade numa turbina.

Aos alunos:

Tente levantar os custos das opções apresentadas e fazer um estudo da relação custo x benefício.

BIOMASSA

A biomassa é matéria orgânica de origem tanto animal como vegetal, obtida de florestas nativas e plantadas, culturas energéticas, plantas aquáticas e resíduos orgânicos – domésticos, industriais e agropecuários. Exemplos típicos são: cana-de-açúcar, lenhas e madeiras de diversas origens, óleos vegetais, como de mamona e dendê, esterco animal, esgoto, etc.

Esses materiais são transformados em energia pelas vias termoquímica ou bioquímica, normalmente para gerar calor direto, gás metano ou eletricidade.

Os processos termoquímicos são a combustão, a pirólise (aquecimento na ausência de oxigênio, utilizada, por exemplo, na fabricação de carvão vegetal), a gaseificação e a liquefação. A conversão bioquímica inclui a digestão anaeróbia e a fermentação alcoólica.

No meio rural e periferias dos países do Terceiro Mundo, ainda hoje, a combustão direta da lenha, de resíduos agrícolas e de esterco constitui-se na principal fonte de energia para o cozimento de alimentos e aquecimento. Nesses países, a lenha para fins energéticos chega a representar 80% do consumo total. Em nível mundial, a lenha ainda representa 47% deste consumo energético (Torres, 1999).

Este consumo tem acarretado sérios prejuízos ambientais pela forma indiscriminada como a lenha é coletada, provocando degradação do solo, erosão e, finalmente, desertificação. Milhões de hectares de áreas de florestas são destruídos por ano no Terceiro Mundo.

No início da década de 40 a biomassa era responsável por cerca de 76% do consumo de energia do Brasil, a energia elétrica por 7,0%, o petróleo por 9,0%, o carvão mineral por 7,0% e a cana-de-açúcar por 1,0%. Com o uso crescente dos derivados de petróleo, logo acompanhados da grande expansão da hidroeleticidade, a biomassa passa a diminuir de participação década após década. Mas a tendência é que esse quadro volte a se inverter, e para um futuro próximo a biomassa volte a ser responsável por suprir grande parte da energia necessária.

O Proálcool é o maior programa de produção de álcool em nível mundial. Na verdade, pode-se produzir álcool a partir da fermentação de cana-de-açúcar, mandioca, milho, sorgo sacarino, entre outras matérias-primas. Porém, a maior produtividade energética por hectare é fornecida pela cana-de-açúcar, que assim é a base para o programa.

Atualmente, estima-se em cerca de 12 bilhões o número de litros anuais produzidos no país, movimentando 4 milhões de carros a álcool, além de participar com aproximadamente 2% na mistura álcool/gasolina, que abastecem os demais 8 milhões de automóveis.

Apesar de seu sucesso tecnológico, o Proálcool também representa importantes custos sociais e ecológicos (La Rovere, 1988):

- os incentivos dados à expansão da cultura da cana-de-açúcar – não estendidos às culturas alimentares para abastecimento do mercado interno – chegaram, ao longo da implementação do Proálcool, a causar, em algumas regiões, a substituição dos cultivos alimentícios pela cana-de-açúcar;
- sua produção, à base de monocultura, com a prática da queimada para facilitar o corte, exige muito do solo, além de um elevado uso de insumos como: fertilizantes, água, pesticidas, entre outros;
- a transformação da cana em álcool nas destilarias gera efluentes líquidos altamente poluentes, como as águas de lavagem e principalmente o vinhoto, emitido em grande quantidade (10 a 17 litros para cada litro de álcool).
- o tratamento do vinhoto em lagoas de decantação e/ou estabilização deu margem a diversos acidentes de rompimento ou transbordo das represas, e o conseqüente despejo do vinhoto em rios causa mortandade de peixes em decorrência da demanda de oxigênio dessa enorme carga orgânica.

Um uso mais eficiente da biomassa é fundamental para reduzir os impactos ambientais decorrentes do seu uso. A conversão em carvão vegetal, o desenvolvimento de fornos aperfeiçoados, de maior rendimento e capazes de permitir a recuperação do alcatrão, poderá contribuir para atenuar os impactos ambientais negativos do uso de carvão vegetal.

A biodigestão anaeróbia propicia um tratamento conveniente de resíduos poluentes como esgoto, vinhoto (de destilarias de álcool e açúcar) e diversos efluentes industriais, fornecendo ainda o biogás como subproduto. Além disso, esta tecnologia também permite eliminar os germes patogênicos do esterco, através do uso de biodigestores rurais, que ainda produzem um biofertilizante bem mais eficaz que o esterco *in natura*, e biogás para cocção, iluminação e geração de energia elétrica.

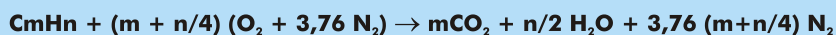
COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Pela importância do impacto causado pela queima de combustíveis fósseis, faremos uma análise mais detalhada desta.

A combustão é utilizada para muitos fins, como, por exemplo, em máquinas, transporte, etc. Qualitativamente, a combustão dos hidrocarbonetos pode ser expressa como a seguir:

Hidrocarboneto + ar (principalmente O_2 e N_2) $\rightarrow$ CO_2 + H_2O + N_2 + substâncias residuais e outros produtos de reação.

Estequiometricamente, a combustão de um hidrocarboneto genérico (C_mH_n) no ar (tratado como apenas nitrogênio e oxigênio) pode ser descrita pela seguinte reação:



Aqui, m e n são variáveis que podem possuir diferentes valores numéricos para diferentes hidrocarbonetos (ex.: em termos aproximados, $m=1$ e $n=4$ para o gás natural, principalmente o metano; $m=1$ e $n=2$ para o óleo; e $m=1$ e $n=1$ para o carvão).

Alguns pontos são importantes para as duas expressões da reação anterior:

- o dióxido de carbono é claramente um produto inerente da combustão de qualquer combustível que contenha carvão. De modo geral, a única maneira de evitar a emissão de dióxido de carbono é eliminar o uso de combustíveis baseados no carbono (ex.: utilizando o hidrogênio como combustível);
- se o oxigênio disponível for insuficiente (ou se os gases não se misturarem, ou o tempo de reação for curto), o carbono irá geralmente fazer uma combustão apenas parcial, produzindo CO;
- o nitrogênio não deveria reagir no ar, mas preferivelmente passar diretamente para um combustível imutável. Entretanto, oxidação do nitrogênio pode ser produzida sob certas condições de combustão, como a alta temperatura (ex.: máquinas de automóvel);

- usualmente, ar em excesso, além do total requerido pela combustão estequiométrica, é utilizado para melhorar a queima do combustível. Porém, a temperatura dos gases de exaustão é diminuída quando é utilizado ar em excesso, assim como alguma energia de combustível pode ir diretamente aquecer o ar em excesso, e esse efeito pode resultar em diminuição da eficiência;
- geralmente o combustível não é um hidrocarboneto puro e contém outras substâncias, como o enxofre. Quando o enxofre está presente, ele entra em combustão (produzindo energia) e reage transformando-se em dióxido de enxofre.

Nos aspectos mais diretamente ligados ao processo de combustão, as seguintes medidas podem ser utilizadas para reduzir emissões:

- limpar primeiramente o combustível, antes de executar a combustão (ex.: a retirada do enxofre do petróleo, carvão mineral e gás natural);
- modificação do processo de combustão (ex.: usar um sistema de combustão duplo, o qual fornece ar insuficiente em uma seção e ar em excesso em outra, para reduzir a produção de poluentes como óxido de nitrogênio);
- tratar os gases de exaustão após a combustão (ex.: uso de precipitadores eletrostáticos, ciclones, filtros de fábrica, esfregadores de partículas para remover o material particulado).

OUTRAS FONTES DE ENERGIA

Outra fonte energética renovável, mas que não é originada pela energia solar, é a formada pela alta temperatura do núcleo da Terra, e alimentada pela desintegração radioativa de núcleos atômicos instáveis, presentes no seu interior.

Finalmente, quando se sabe controlar a reação nuclear que se desenvolve exponencialmente, em cadeia, sua energia pode ser usada como uma fonte energética. É o caso da fissão de núcleos pesados como o urânio, usado nos reatores nucleares, onde são submetidos a um bombardeio de nêutrons. O calor liberado serve para produzir vapor, movimentando uma turbina que aciona um gerador elétrico. Entretanto, esta fonte é não renovável, pois o estoque de materiais fósseis na crosta terrestre é finito, sendo

o urânio relativamente escasso. Já a fusão de núcleos leves, mais abundante, ainda não é controlada pelo homem, que até agora só conseguiu utilizá-la para gerar explosões, com fins bélicos, como no caso da bomba de hidrogênio.

Aos alunos:

Identifique as vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de energia apresentados anteriormente e estabeleça um critério para expressar o grau de impacto ambiental associado ao uso de cada um deles.

7.5 MEDIDAS TÉCNICAS PARA MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO**PREVENÇÃO DAS PERDAS E DISSIPAÇÃO DE ENERGIA**

As perdas de energia estão associadas a vazamentos que ocorrem dentro dos sistemas (ex.: fluxo quente dentro de um espaço frio) ou para fora do sistema (ex.: vazamento de combustível de um tanque de armazenagem, vazamento de vapor).

A eficiência pode ser melhorada através da prevenção desses vazamentos de energia por intermédio das duas principais abordagens:

- aplicação de tecnologias e métodos de prevenção de vazamento como, por exemplo, o uso de selos em tanques e dutovias e aplicação de isolamento;
- inspeção periódica para detectar perdas e vazamentos e para levar às ações apropriadas a serem formuladas e implementadas.

CO-GERAÇÃO E GERAÇÃO DE MULTIPRODUTO

A geração de dois ou mais produtos simultaneamente às vezes resulta no aumento de eficiência quando comparado à soma da produção individual de cada um dos produtos.

Co-geração, ou combinação de aquecimento e potência (CHP), geralmente se refere à geração simultânea de energia (trabalho) e calor (ou uma forma aquecida como água quente ou vapor). Muitas indústrias utilizam a co-geração internamente, com algumas sendo capazes de até vender parte da energia co-gerada!

Uma geração tripla pode ser resultante de um processo de co-geração, em que se pode produzir um refrigeração em adição ao aquecimento e eletricidade.

Também existem outros processos que geram produtos múltiplos, que resultam em ganho de eficiência, como, por exemplo, a eletrólise de água para produzir hidrogênio gera uma mercadoria secundária, o oxigênio, normalmente de alto grau de pureza e, dessa forma, pode ser considerado como um co-produto ou um produto co-gerado. Observe na Figura 7.7 um sistema de co-geração de ciclo combinado:

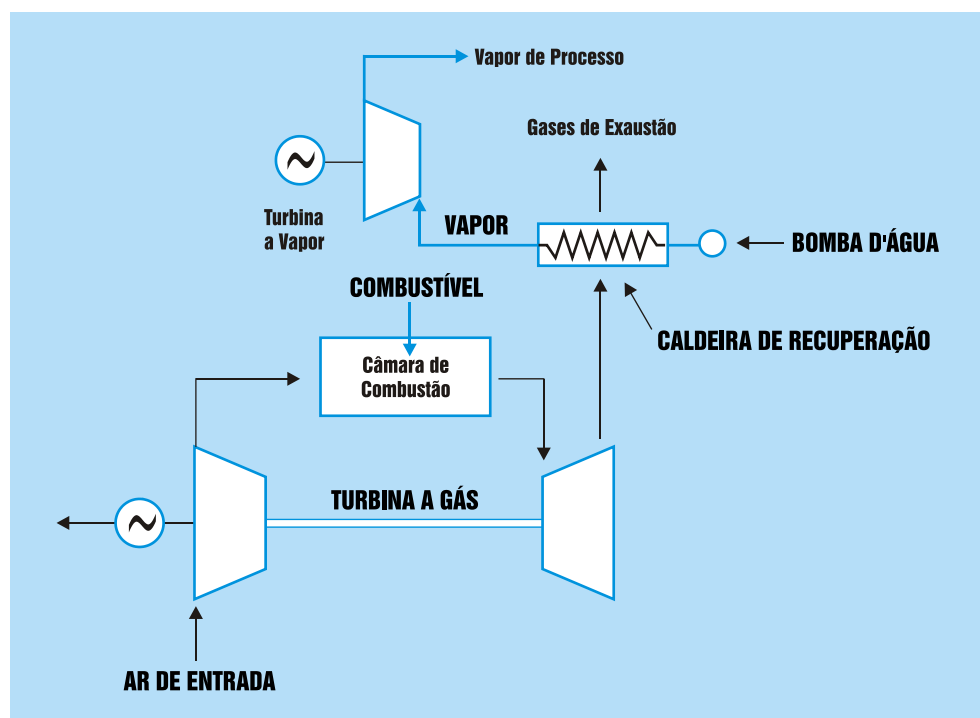


FIGURA 7.7 – SISTEMA DE CO-GERAÇÃO EM CICLO COMBINADO

SISTEMAS DE ENERGIA INTEGRADOS

A eficiência pode ser melhorada unindo sistemas separados e criando sistemas de energia integrados. As integrações de sistemas são benéficas em situações em que as saídas dos processos, as perdas ou os resíduos não podem ser reusados naquele mesmo processo, mas sim como entrada de outros processos.

Por exemplo, o dióxido de carbono emitido como combustão de resíduos sólidos pode, com uma variedade de níveis de tratamento, tanto ser utilizado em outros processos em que ele é requerido como também ser injetado dentro de reservatórios de óleo, na intensificação das operações de recuperação de óleo ou na carbonatação de bebidas. A integração de sistemas de energia pode ser muito ampla e complexa, especialmente nos parques industriais, onde muitos recursos são utilizados e uma grande variedade de resíduos é gerada.

Na indústria de processos, muitas correntes de saída possuem cargas térmicas elevadas para o seu destino e, portanto, têm que ser submetidas a trocas térmicas com água de refrigeração. Por outro lado, outros processos exigem que as suas correntes de entrada sejam aquecidas. Para tanto, usam-se fornalhas, ou vapor. Dessa forma, tanto para o aquecimento como para o resfriamento, consome-se energia. Se o calor a ser retirado de uma corrente puder ser aproveitado para aquecer uma outra, que precisa ter sua carga térmica aumentada, estaríamos conseguindo um duplo ganho, tanto econômico como ambiental. A instalação criteriosa de trocadores de calor permite essas transferências.

De acordo com o que vimos no Capítulo 3 – Minimização de Resíduos, o método PINCH possibilita uma integração mais ampla, incluindo calor e potência, e posteriormente serve de base para a integração mássica, onde o objetivo é minimizar perdas materiais procurando-se os arranjos mais econômicos para transferir compostos de efluentes líquidos para correntes de processo.

ENTROSAMENTO ENTRE DEMANDA, FORNECIMENTO E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Algumas formas de fornecimento de energia dificultam seu controle, provocando perdas. Isso faz com que a energia seja oferecida num nível que excede o requerido para uma demanda específica. Portanto, é mais eficiente fornecer uma forma de energia em um nível mais próximo do necessário. Isso pode ser realizado de diversas maneiras, tais como:

- adequar a temperatura do fluxo de transferência de calor para o fim determinado. Para um aquecimento interno em torno de 22°C, por exemplo, o fornecimento de calor de 40°C seria suficiente e muito melhor do que o uso de calor vindo de uma caldeira de combustão que gera calor a centenas de graus. Dessa forma se torna viável o uso de calor residual de indústrias;
- armazenar a energia excedente, das fontes que estão disponíveis em quantidades superiores à demanda, em determinados momentos.

MELHORIA NO ENVOLTÓRIO DAS EDIFICAÇÕES

A eficiência de energia em uma edificação pode ser melhorada utilizando-se uma variedade de medidas, tais como:

- aumento no isolamento de paredes e telhados, para reduzir a infiltração de calor no verão e a perda no inverno;
- vedação nas fendas, portas, janelas e pequenas frestas, para reduzir trocas de ar do meio externo com o meio interno;
- janelas modernas, de alta eficiência, que devem ter as seguintes características:
 - camadas duplas (ou mais) de esmalte, que reduzem as perdas de calor;
 - janelas eletrônicas ou com fotossensores, que automaticamente reflitam ou absorvam luz;
 - aplicação de camadas de baixas taxas de emissão, que aumentam a resistência da janela às perdas de calor;
- persianas e brises, equipadas com sensores fotossensíveis que são auto-ajustáveis, em função da projeção da luz do sol, de forma a impedir ou liberar a absorção da luz, de acordo com a estação.

Questão para reflexão:

- Se você fosse construir uma casa hoje, consideraria as medidas propostas acima no projeto?

USO DE APARELHOS DE ALTA EFICIÊNCIA

Cada vez é mais fácil encontrar equipamentos e aparelhos de alta eficiência, como por exemplo:

- aparelhos domésticos de alta eficiência (ex.: refrigerador, fogão, lava-prato, lava-roupa, secadora, etc.);
- aquecedores e ares-condicionados de alta eficiência;
- motores e caldeiras de alta eficiência;
- motores de velocidade variável, utilizados em bombas, ventiladores, compressores, bombas quentes e linhas de processos na indústria e que possam se adequar melhor ao serviço requerido do que os que têm uma única velocidade.

Aos alunos:

Quando você for comprar um aparelho verifique os dados relacionados ao consumo de energia. Compre esta briga!!

ILUMINAÇÃO MAIS EFICIENTE E EFICAZ

A iluminação representa um consumo de energia significativo, somando um valor em torno de 20% do uso total de energia nos Estados Unidos. Novas instalações elétricas (incluindo lâmpadas elétricas, refletores e difusores) trazem maior eficiência e maior vida útil. Por exemplo, eficiência de energia para alguns tipos de fonte de luz (em lumens de iluminação por *watt* de eletricidade consumido, são:

TABELA 7.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA DIFERENTES TIPOS DE FONTE DE LUZ

Tipo de lâmpada/ lumens por watt	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155
Incandescente (10 a 30)																															
Mercurio (20 a 55)																															
Fluorescente (20 a 60)																															
Sódio de alta pressão (50 a 130)																															
Sódio de baixa pressão (80 a 155)																															

Dessa forma a mesma quantidade de luz pode ser gerada com iluminação de alta eficiência com menos de 10% da eletricidade requerida para uma lâmpada incandescente.

Aos alunos:

Faça um levantamento de custos dos diferentes tipos de lâmpadas apresentados na Tabela 7.1 e avalie a relação custo x benefício.

Também pode ser conseguida eficiência através da adequação da iluminação ao espaço e função, através de algumas outras medidas, como:

- utilizar iluminação direcionada para onde for mais necessário. Por exemplo: uma mesa deve estar mais iluminada do que o restante do quarto;
- ajustar os níveis de iluminação para que se adaptem às necessidades do olho humano, sem deixá-los excessivamente altos, por razões estéticas ou quaisquer outras;
- utilizar sensores que levem as luzes a serem apagadas quando os ambientes não estiverem ocupados e se ajustem para intensidades mais baixas quando as atividades assim o permitirem;
- no próprio projeto arquitetônico, sempre que possível, buscar a utilização de iluminação natural ao invés de artificial;

- empregar os tipos de luminárias que consomem menos energia por lumens. Evitar particularmente o uso de iluminação incandescente.

Aos alunos:

Que tal implementar alguma dessas ações em casa ou no trabalho e avaliar os resultados?

AQUECIMENTO E/OU RESFRIAMENTO POR REGIÃO

Sistemas de aquecimento por área podem usar estruturas de aquecimento centralizadas para produzir uma média de aquecimento, a qual é transportada para vários usuários conectados ao longo da rede de aquecimento da região. Por exemplo: construções no centro de muitas cidades são geralmente conectadas por tubos ao longo dos quais água quente ou vapor fluem para fornecer o aquecimento do espaço ou da água.

Similarmente, o resfriamento de uma região envolve uma produção central de um resfriamento médio, o qual é transportado para os usuários por uma rede de tubulação para fornecer o resfriamento do espaço.

Comparada com a alternativa de aquecimento e resfriamento individuais, os sistemas de aquecimento e resfriamento por distrito têm melhorado a eficiência e reduzido os impactos ambientais, porque na forma centralizada, com a geração de energia em larga escala, há facilidade de implementar melhorias de eficiência, e, além disso, medidas de controle ambiental se tornam possíveis. Aquecimento por região é geralmente associado de forma vantajosa com co-geração.

USO DE ESTRATÉGIAS PASSIVAS PARA REDUZIR O CONSUMO DE ENERGIA

Alguns métodos passivos podem ser utilizados para reduzir o consumo de energia. Por exemplo:

- regular as temperaturas utilizadas em projetos. A temperatura especificada para o aquecimento do ar no inverno pode ser mantida no mais baixo valor confortável (próximo de 20-21°C), e para o resfriamento do ar no verão pode ser mantida próximo do mais alto nível (aproximadamente 22-24°C). Também,

a temperatura para água quente doméstica pode ser diminuída para mais ou menos 38°C;

- desligar as luzes, aparelhos domésticos e outros equipamentos durante os períodos em que não estejam sendo utilizados;
- usar relógios para controle das horas de operação. Por exemplo, o tempo do termostato leva temperaturas internas a serem religadas nas noites de inverno;
- utilizar e armazenar a luz do dia para diminuir a necessidade de luz não natural durante o período da noite;
- utilizar correntes frias externas para resfriar o calor interno, em vez de ligar o ar-condicionado. Também há a possibilidade de uso de águas geladas profundas dos rios e lagos para resfriar o espaço via um resfriamento circular (e ainda, algumas vezes, pode ser fonte de água potável);
- utilizar radiação solar para aquecer edificações através da exploração da capacidade de armazenagem da energia térmica em edificações, posicionando árvores, janelas e brises, de modo a manter as edificações frias durante o verão e quentes no inverno.

Aos alunos:

Cheque quais desses métodos você já utiliza no seu dia-a-dia e analise sua postura em relação ao comprometimento com a redução no consumo de energia.

OPORTUNIDADES PARA MELHORIA EM EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Cada tipo de indústria possui equipamentos, processos e características que lhe são próprios. Uma visão pormenorizada de várias estratégias para a redução no consumo de energia para cada tipo de indústria foge ao escopo deste trabalho. Há uma série de referências bibliográficas que possuem tal finalidade, sendo algumas de caráter geral e outras específicas para cada ramo de atividade (*Manuais de Conservação de Energia*, do IPT, por exemplo). Nesse texto são apresentadas apenas algumas sugestões de caráter geral sobre medidas de conservação em equipamentos ou sistemas que independem do tipo de atividade da indústria.

Deve-se frisar que as metas de conservação de energia estabelecidas por um dado grupo técnico, em uma dada planta industrial, devem ser bem ponderadas: metas por demais ambiciosas podem causar frustração e descrédito se não forem alcançadas, prejudicando a credibilidade do grupo técnico responsável; por outro lado, metas muito acanhadas podem comprometer a motivação da indústria em efetivá-las, dado o pequeno retorno esperado.

Geradores de Vapor

Manipulação de combustíveis e perdas na combustão:

- para combustíveis líquidos, garantir uma boa nebulização:
 - controle da pressão de combustível;
 - controle da viscosidade (temperatura do óleo);
 - controle de depósitos indesejáveis (filtragem);
 - controle da relação ar/combustível;
- para combustíveis sólidos, evitar perdas pelas cinzas ou formação de fuligem:
 - uso da granulometria adequada;
 - velocidade de alimentação da fornalha;
 - controle do teor de umidade do combustível;
 - controle das vazões de ar primário e secundário;
- para combustíveis gasosos:
 - controle da pressão de alimentação;
 - filtragem adequada de particulados ou licores.

Tratamento da água de alimentação:

- análise periódica da qualidade da água de *make-up*;
- avaliação da adequação dos reagentes adicionados;

- eliminação de purgas desnecessárias;
- reaproveitamento sempre que possível do condensado.

Perdas pela chaminé – gases de exaustão:

- redução do excesso de ar – desde que não haja um aumento de emissões de particulados e de perdas por combustão incompleta;
- redução máxima da temperatura na chaminé, aproveitando gases quentes para pré-aquecimento de água ou de ar;
- eliminação das incrustações e fuligem excessivas das áreas de troca de calor, através de limpeza periódica.

Perdas por radiação e convecção para o ambiente:

- verificar periodicamente o estado do material isolante;
- isolar termicamente as válvulas, se possível;
- isolar termicamente o tanque de condensado;
- isolar termicamente o tanque de combustível, se este for aquecido.

Distribuição de Vapor

- dimensionamento de tubulações adequado: superdimensionamento aumenta perdas por troca térmica com o meio e subdimensionamento aumenta perda de carga;
- medidas de instalação correta: inclinação da tubulação, drenagem de condensado em linhas muito longas, posição dos tubos em ramificações, etc.;
- verificação de vazamentos de vapor em flanges, uniões e válvulas;
- conservação e manutenção adequada de purgadores de vapor;
- eliminação de perdas térmicas desnecessárias em linhas desativadas;
- isolamento térmico em mau estado ou inexistente, etc.;
- evitar mudanças de regime de operação que se traduzam em perdas térmicas por inércia térmica das tubulações ou equipamentos.

Fornos

- empregar os gases de exaustão como fonte secundária de energia. A recuperação de boa parte da energia dos gases de escape de fornos é quase sempre viável;
- empregar isolante térmico adequado;
- verificar o forno quanto a trincas e quebras de material refratário;
- manejar as portas de alimentação de forma a evitar fuga de gases do forno e perdas por radiação;
- em fornos contínuos, alimentar o produto em contracorrente aos gases pode ser muito interessante. As correias transportadoras devem retornar por dentro do forno, se possível.

Incineradores

- usar processo contínuo em um incinerador pode viabilizar a recuperação da energia dos gases de escape – seja para preaquecer o ar do incinerador, seja para produzir vapor ou água quente.

Condicionamento de Ar

- projeto arquitetônico favorável (clima quente ou clima frio) pode requerer cargas de resfriamento ou aquecimento muito menores;
- controle adequado da instalação, evitando sobreaquecimento ou sub-resfriamento de ambientes. Deve-se controlar não apenas a temperatura, mas também a umidade relativa do ar;
- manutenção adequada de filtros de ar e de superfícies aletadas de troca térmica.

Ar Comprimido

- manutenção adequada: reparar vazamentos, filtros, etc.;
- usar a água quente proveniente dos resfriadores da estação de compressão;

- empregar um nível de pressão adequado e não superior ao necessário;
- lembrar que os compressores em geral consomem energia elétrica.

Torres de Resfriamento

- evitar o uso de torres de resfriamento. Sempre que for possível resfriar a água por meio de um trocador de calor para recuperação de energia;
- controlar as vazões de ar e de água de forma a buscar minimizar o consumo de energia elétrica em bombas e ventiladores.

Secadores em Geral

- sempre que possível empregar energia secundária, isto é, energia que seria descartada como perda;
- não secar demasiadamente o produto – que depois irá, na estocagem, reabsorver umidade.

Motores Elétricos de Acionamento

- não utilizar motores superdimensionados para as máquinas acionadas. A eficiência de um motor subutilizado é bem menor do que a de catálogo;
- onde não se dispõe de um motor elétrico adequado, pode ser interessante adotar inversores e controladores de frequência, para melhor adequação entre o motor e a carga.

Alguns equipamentos acionados por motores elétricos podem trabalhar com rotações variáveis para controle de carga. Nesse caso, controladores de frequência podem ser mais interessantes do que válvulas ou outros dispositivos de controle dissipativos (*by-pass* ou recirculação).

Aos alunos:

Verifique quais equipamentos da sua empresa constam na relação apresentada anteriormente e selecione as sugestões de medidas que você pode adotar visando à melhoria da eficiência energética.

7.6 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E ENERGIA

Quando lembramos que o Projeto para o Meio Ambiente tem sempre como maior meta fazer parte de sistemas sustentáveis, fica claro que precisamos analisar o uso de energia à luz do desenvolvimento sustentável. Por exemplo, nas atividades de seleção de energia é fundamental escolher a forma mais apropriada e menos impactante de energia. Tanto as fontes quanto os meios de transferência merecem avaliação numa escala macro. No geral, o conceito de eficiência tem que ser ampliado para incluir a matriz energética geral.

A discussão acerca dos impactos de energia transcende a simples questão de compra de um insumo ao menor custo. Variações no suprimento de energia e na eficiência de energia claramente vão impactar mais, ou menos. Portanto, assim como todos os itens importantes para a produção em uma indústria, é fundamental que a energia seja analisada quanto aos aspectos da qualidade, da confiabilidade de abastecimento e dos vários aspectos relacionados ao meio ambiente, tanto na utilização como no armazenamento, no transporte, etc.

As decisões associadas ao uso de um insumo energético têm um período de maturação, determinado pela criação da infra-estrutura de provisionamento e pela adaptação do próprio sistema de consumo. Há também um prazo de amortização e vida útil não desprezíveis. Dessa forma todos os fatores considerados pertinentes não podem ser analisados de forma estática, sendo fundamental a compreensão da evolução verificada no passado e a realização de um exercício prospectivo dentro de um cenário de, no mínimo, médio prazo.

Aliado a isso, é importante manter-se ciente da evolução do cenário energético a longo prazo e, no caso, considerar como a demanda energética vai afetar a sociedade como um todo. Isto é, recursos de energia devem ser utilizados de forma que, ao longo do tempo, permaneçam disponíveis continuamente com um custo acessível e que possam ser utilizados para todos os tipos de tarefas sem causar impactos socioambientais negativos.

SUPRIMENTO ENERGÉTICO

Primeiramente, precisamos lembrar que nas atividades de seleção de energia dois aspectos prioritários devem ser levados em consideração:

- a seleção das fontes de energia;
- a seleção dos meios de transferência de energia.

Sempre, para ambos os itens, existe mais de uma possibilidade de escolha, e normalmente as escolhas disponíveis podem ser melhoradas (por exemplo, em alguns países é possível que os consumidores selecionem a fonte de sua eletricidade).

Para a escolha da fonte e do meio de transferência, primeiro é necessário saber qual o serviço de energia que irá ser necessário. Esta escolha deve permitir que o tipo de serviço requerido possa de fato ser implementado sem interferir em outros aspectos do Projeto para o Meio Ambiente.

Tecnicamente, deve ser considerado que alguns energéticos são mais bem-adaptados para determinados fins. Fornos e secadores para tratamento especial, por exemplo, devem utilizar, necessariamente, combustíveis líquidos ou gasosos (isentos de contaminantes como enxofre e alcatrão), ou ainda eletricidade. Já os geradores de vapor, por sua vez, dada a natureza do processo de conversão de energia e sua localização nas indústrias, podem empregar combustíveis como biomassa, carvão e óleos pesados.

Dentro de um programa de gestão do uso de energia é preciso que exista a clareza de que alguns energéticos são armazenáveis e, portanto, podem ser tratados, do ponto de vista da formação e do gerenciamento dos estoques, como outros itens da produção. Outros energéticos, como eletricidade, gás natural, vapor e combustíveis, que são provenientes de recuperação, não são armazenáveis. O que é importante notar é que o consumo desses energéticos tem muitas vezes que ser quase totalmente adaptado à dinâmica da oferta.

Outro fator importante é que alguns energéticos são algumas vezes proibidos em determinados usos, como é o caso do óleo diesel e do GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), em certos usos térmicos industriais, por causa dos impactos gerados e subsídios governamentais. Em adição, existem regulamentações específicas ao consumo de eletricidade e derivados de petróleo que precisam ser conhecidas por todos aqueles que participam dos trabalhos de gestão do uso de energia.

Além disso, a seleção da fonte de energia e dos meios de transferência está também vinculada com a tecnologia de conversão de energia disponível. Algumas das seleções de energia envolvem também substituição de energia ou combustíveis, como, por exemplo, o uso preferencial de aquecedores a gás natural em lugar do uso da eletricidade. É também fundamental que sejam conhecidas as especificações dos combustíveis quanto à sua composição elementar e propriedades, como poder calorífico, viscosidade, ponto de fulgor, etc.

Estes dados são essenciais no acompanhamento do consumo da indústria e das medidas de controle de emissões, às quais a empresa pode estar sujeita. Enfim, somente com todos estes dados podemos chegar a utilizar a fonte mais adequada, levando em conta as necessidades do sistema produtivo e os possíveis impactos gerados.

Dentro desse contexto de requisitos para os processos industriais a idéia básica é simplesmente escolher fontes e meios de transferência que sejam econômicos, seguros, transportáveis e, cada vez mais, de tipos “renováveis”. Nesse sentido, as fontes de energia são usualmente categorizadas em dois grupos:

- as que são geralmente reconhecidas por serem finitas e não renováveis, e, portanto, não sustentáveis ao longo do tempo (por exemplo: combustíveis fósseis, como carvão, óleo, gás natural, além de turfa e urânio);
- as que são geralmente reconhecidas como renováveis e sustentáveis por tempos bem mais longos (por exemplo: solar, eólica, gravitacional).

Resíduos conversíveis para formas de energia utilizáveis, como o uso da energia proveniente da incineração de resíduos e combustíveis de biomassa, são também muitas vezes vistos como fontes de energia sustentáveis.

Então, dentre os esforços para prevenção da poluição e minimização dos impactos ambientais na escolha de energia, deve-se geralmente seguir os seguintes passos:

- usar fontes renováveis de energia em lugar das não renováveis. A maior barreira para o uso de energia renovável se deve ao fato de que o seu custo é frequentemente maior do que o de fontes não renováveis, por causa das propensões do mercado de externalizar custos de combustíveis fósseis,

etc. Apesar disso, em algumas aplicações bastante específicas, como, por exemplo, uso de energia solar fotovoltaica para produzir energia em localidades remotas ou distantes, podem ter um custo menor do que a opção de instalar e manter cabos de transmissão elétrica ao longo de grandes distâncias, ou mesmo o uso de geradores a diesel com o transporte regular do combustível;

- usar fontes de energia que causem um impacto ambiental relativamente baixo. O uso de todos os combustíveis fósseis leva à emissão de gases de combustão, mesmo sendo os poluentes problemáticos geralmente menores para combustíveis que têm maior relação atômica de hidrogênio carbono. Seguindo essa linha de raciocínio, temos que o gás natural é mais benigno do que o óleo, o qual, por sua vez, é mais benigno do que o carvão.

Não há emissões durante as operações normais de uma usina nuclear, exceto o consumo de combustível, que deixa radioatividade por muitos anos. Até a energia hidroelétrica proveniente das quedas-d'água (fonte indireta da energia solar) também gera impactos negativos, quando da construção da barragem, alterando todo ciclo natural existente no local.

As fontes de energia renováveis são geralmente derivadas da energia do Sol, ou de fontes derivadas do Sol (ventos, ondas, correnteza). O uso de energia renovável é relativamente benigno, embora sejam necessários recursos para construir as tecnologias de conversão de energia, além de uma grande extensão de área (por exemplo, para coletores solares e geradores eólicos):

- integrar energeticamente sua produção, evitando desperdícios que poderiam ser aproveitados, como o esfriamento de correntes com água de refrigeração ao invés de transferir este calor para correntes que precisam de aquecimento;
- usar fontes de energia e meios de transferência que podem ser utilizados com maior ecoeficiência com boas tecnologias de conversão de energia (sistemas de co-geração, caldeiras com baixas emissões de NO_x).

LIMITAÇÕES PRÁTICAS NA EFICIÊNCIA DE ENERGIA

Devido às considerações de ordem prática, a meta, quando se seleciona as fontes de energia e a utilização dos processos, não é apenas encontrar a eficiência máxima, mas também encontrar o ponto ótimo de equilíbrio entre eficiência energética e outros fatores, como:

- economia;
- sustentabilidade;
- impactos ambientais;
- segurança;
- aceitabilidade social e política.

Ao levar em consideração todos esses fatores, inevitavelmente ocorrem algumas limitações de ordem prática quanto ao uso eficiente de energia.

Para que o incremento na eficiência de energia leve ao desenvolvimento sustentável, ponto ótimo no meio de todos esses fatores, deve-se deslocar na direção de melhor utilização de eficiência de energia (ao mesmo tempo em que se reconhece e se leva em consideração as limitações teóricas no incremento da eficiência de energia). Esse ponto ótimo é dependente de muitos fatores, que são controlados pela sociedade e, portanto, podem ser alterados. Governos podem, por exemplo:

- oferecer incentivos financeiros que retribuam com tecnologias de alta eficiência que sejam economicamente atrativos;
- aplicar taxas e regulamentações de modo a não incentivar o uso de tecnologia de baixa eficiência.

LIMITAÇÕES TEÓRICAS NA EFICIÊNCIA DE ENERGIA

Para avaliar o potencial de incremento na eficiência de energia como medida para promover o desenvolvimento sustentável, os limites impostos pela existência de uma eficiência de energia teórica máxima devem ser claramente entendidos. A falta de transparência neste tópico, no passado, geralmente levava à falta de entendimento. Parte da razão desse problema é que a análise de energia convencional geralmente não

mede eficiência como uma medida do quão próximo a *performance* de um processo está do ideal, ou do máximo possível.

As conseqüências dessa falta de entendimento podem ser significantes:

- no passado, grandes esforços e recursos foram direcionados, por intermédio de pesquisas e outras medidas, para a melhoria de eficiência de energia, até mesmo em processos e aparelhos já razoavelmente eficientes, ainda que o potencial de melhoramento na eficiência de energia fosse relativamente pequeno (mesmo atrelado a um limite máximo);
- processos intensivos de energia, em outras situações, não foram objetivados com o intuito de melhoramento da eficiência. Isto em parte porque as medidas de eficiência de energia eram feitas com métodos que permitiam enganos, apesar da grande diferença entre eficiências máximas e reais. Por serem grandes as diferenças, da mesma forma o potencial de melhoramento é também grande.

As dificuldades inerentes às análises de energia são em parte atribuídas ao fato de que:

- considera-se apenas quantidades;
- ignora-se a qualidade da energia e o fato de que a qualidade de energia é continuamente degradada durante o processo real.

A análise de exergia, um conceito relativamente novo, será discutida em seguida. O método representa a proposta de uma técnica que resolve, se não todos, a maioria dos problemas associados à análise de energia.

7.7 O FUTURO: ANÁLISE DE EXERGIA

Existem muitas definições para Exergia, dentre elas citamos:

Exergia é a parte da energia que pode ser completamente convertida em qualquer outra forma de energia.

A análise de **energia** é baseada na primeira lei da termodinâmica, uma lei que trata da conservação de energia. A análise de **exergia** é baseada na segunda lei da termodinâmica e tem algumas vantagens sobre a análise de energia. Elas não são concorrentes e sim complementares.

A energia não pode ser criada nem destruída, apenas é transformada, e sempre se conserva. A cada transformação haverá sempre uma parte perdida. Rant, o mesmo que sugeriu a palavra Exergia, também propôs a palavra Anergia para denominar a parte da energia que não pode ser aproveitada, isto é:

$$\text{Energia} = \text{Exergia} + \text{Anergia}$$

Portanto, energia é a soma de tudo aquilo que pode ser aproveitado (exergia) com a parte que não se utiliza (anergia).

Podemos dizer também que exergia é a parte nobre da energia. Em outras palavras, é a parcela que pode ser convertida em calor e/ou trabalho. Porém, apesar desse conhecimento, podemos ainda observar do ponto de vista microcósmico, e notaremos que existem subparcelas dentro desse fluxo exergético.

Para calcular a exergia é necessário que se defina qual é o estado de referência, para que se possa ter base sobre quais são os valores adotados.

Segundo Szargut (1988) e Kotas (1985), a exergia pode ser dividida em quatro partes: cinética, potencial, termomecânica e química.

As ineficiências de um processo são mais bem verificadas numa análise de exergia do que numa análise de energia. Nela, os tipos, as causas e a localização das perdas são identificados e quantificados.

Muitos engenheiros e cientistas sugerem que a termodinâmica de um processo é mais bem avaliada executando-se uma análise exergética adicional à análise de energia, ou mesmo substituindo-a, porque a análise de exergia dá a impressão de permitir a identificação de mais oportunidades de melhoria e ser mais útil no esforço para melhoria da eficiência do que a análise de energia (Moran, 1989; Szargut et al., 1988; Kotas, 1995).

A exergia, também chamada de disponibilidade ou energia disponível, pode ser ainda definida como a quantidade máxima de trabalho que pode ser produzido por um fluxo ou sistema, quando ele entra em equilíbrio com um ambiente de referência e pode ser considerado como uma medida da utilidade ou qualidade da energia.

A exergia é consumida durante o processo real e conservada durante o processo ideal. O consumo de exergia durante um processo é proporcional à entropia criada pela irreversibilidade associada ao processo.

Existem outras metodologias de análise baseadas na segunda lei da termodinâmica e, portanto, são geralmente referidas como análise da segunda lei, incluindo análise de perda de trabalho, análise de entropia e análise “pinch”. Numerosas investigações e aplicações de análise de exergia vêm sendo relatadas nos últimos anos.

Um exemplo deste tipo é a análise de diferentes tipos de aquecimento, como chuveiros elétricos. A eficiência energética de aquecimento (chuveiro elétrico) pode ser estimada em 99%. A implicação clara é que a máxima eficiência de energia possível para resistência elétrica é 100% e que esse valor corresponde ao sistema mais eficiente possível.

Esse entendimento é incorreto, pois as análises de energia ignoram o fato de que neste processo uma entrada de energia de alta qualidade (eletricidade) é usada para produzir um produto de relativamente baixa qualidade (água quente). A análise de exergia reconhece essa diferença na qualidade de energia e indica eficiência baseada na exergia, do aquecimento, como sendo em torno de 5%.

Claramente, a análise de energia pode levar a um engano de otimização na análise do desempenho e não identifica as limitações práticas e teóricas no melhoramento da eficiência. A análise da exergia não tem essas deficiências e, portanto, clara e diretamente, identifica todas as limitações no melhoramento da eficiência com relação a um verdadeiro ideal termodinâmico.

FECHAMENTO

Certamente, o desenvolvimento sustentável requer que os recursos de energia sejam utilizados eficientemente. A sociedade pode maximizar os benefícios derivados dos recursos de energia diretamente com a utilização eficiente da energia, enquanto minimiza os impactos negativos associados a seu uso.

Sempre procuramos maximizar eficiências energéticas para reduzir os seguintes fatores:

- os impactos ambientais associados;
- requerimento de recursos (energia, material, etc.) para criar e manter sistemas para extrair energia.

Idealmente, uma sociedade que procura o desenvolvimento sustentável utilizará apenas recursos de energia que não causem nenhum impacto ambiental. Como condição, pode-se ater, ou estar próximo de se ater, ao uso dos recursos energéticos das seguintes formas:

- emitir pouco ou nenhum resíduo para o ambiente;
- causar apenas emissões de resíduos que tenham um mínimo ou nenhum impacto negativo no ambiente.

Esta última condição é usualmente encontrada quando emissões são relativamente inertes e não reagem no ambiente, ou quando a emissão de resíduos está dentro, ou perto, do equilíbrio com o ambiente, isto é, ao "material" do ambiente em todos os aspectos, como temperatura, pressão, composição química, etc.

Na realidade, entretanto, todos os recursos de energia utilizados levam, em algum grau, a um impacto ambiental, e existe uma relação direta entre eficiência de energia e impacto ambiental, de forma que se otimizarmos sua eficiência, certo nível fixo de serviços de energia pode ser cumprido, satisfeito, com menos recursos de energia, e, na maioria dos casos, ocorrerá redução dos níveis de emissão de resíduos provenientes dos recursos de energia.

Dessa forma, podemos entender que as imposições do desenvolvimento sustentável para as emissões e seus impactos negativos ao meio ambiente podem ser, em parte, sanadas pela eficiência no uso de energia.

CAPÍTULO 8

TENDÊNCIAS PARA O FUTURO

Asher Kiperstok | Universidade Federal da Bahia • UFBA • TECLIM

“**Seja você a mudança que espera ver no mundo.**”

Mahatma Gandhi

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Conduzir a uma reflexão sobre as tendências futuras da ciência.

Você deve ter notado que todo o nosso movimento até agora tem sido no sentido de tentar responder à pergunta de como se pode atender à demanda do Fator 10 num horizonte temporal de 50 anos. Caberia perguntar, então, se a pergunta foi respondida. É possível, a partir das abordagens apresentadas de gestão e tecnologias, aumentar a ecoeficiência dos nossos processos produtivos em 10 vezes nesse período?

A proposta deste módulo foi a de “retrojetar” um desafio futuro para que as devidas providências possam ser tomadas, de forma a atingir o estado desejado. Esta mesma proposta foi utilizada pelo governo holandês em 1989, para elaborar o Plano Nacional de Políticas Ambientais. O compromisso desse país com o desenvolvimento sustentável proposto pela Comissão Brundtland exigiu a definição de objetivos extremamente ousados. Esse trabalho encontra-se publicado no livro *Desenvolvimento de Tecnologias Sustentáveis* (Weaver, 2000). A discussão neste capítulo está embasada no referido livro, com o objetivo de ilustrar uma forma de vislumbrar o futuro a partir da ótica de um país que de certa forma já o vive.

8.1 TENDÊNCIAS FUTURAS

Talvez algumas propostas apresentadas a você visando atingir o Fator 10 pareçam para alguns ousadias futurísticas, ou até mesmo utopias. Para outros, no entanto, que já as conheciam, talvez não tenha havido muitas novidades. Infelizmente, porém, o que podemos perceber é que poucos realmente colocam essas propostas em prática. O fato é que nosso país é de contrastes. Convivemos com realidades futurísticas e medievais em espaços contíguos, portanto, como não poderia deixar de ser, existem muitas diferenças também no modo de pensar e agir das pessoas.

Uma outra certeza que temos é que todo o esforço deve ser empreendido para atingir o Fator 10. Acreditamos, no entanto, que mesmo propondo uma visão bem mais avançada da predominante “**Tecnologia Fim-de-tubo**”, teremos muitas dificuldades para atingir esta meta.

De qualquer maneira, aprofundaremos um pouco mais esta discussão, tomando como referência as experiências obtidas em países desenvolvidos, a exemplo da Holanda.

O Programa de Desenvolvimento de Tecnologias Sustentáveis (DTS), proposto no Plano Holandês de Políticas Ambientais, apresentou como uma de suas conclusões mais marcantes o fato de o atual padrão de inovação ser incapaz de modificar o processo produtivo de forma a gerar Fator 10, sendo necessário para tal:

- inovar o próprio processo de inovação tecnológica;
- reconhecer que inovações sequenciais/incrementais não são suficientes;
- promover grandes quebras de paradigmas.

A Comissão Holandesa para Políticas Ambientais de Longo Prazo ainda coloca: “As práticas habituais de inovação não oferecem qualquer perspectiva da tecnologia ter um papel, senão periférico, para se atingir o desenvolvimento sustentável.” (Weaver, 2000)

No livro *Desenvolvimento de Tecnologias Sustentáveis* (Weaver, 2000) são apresentados alguns estudos desenvolvidos na Holanda para identificar o nível do desafio tecnológico a ser enfrentado com o objetivo de atingir o Fator 10. Na verdade, a Holanda, um país opulento e com altíssimo padrão de renda e consumo, para manter

a taxa de crescimento atual e garantir um desenvolvimento sustentável a longo prazo, precisaria atingir o Fator 20, ou até mesmo 40, o que representaria um desafio muito maior de inovar o processo de inovação relacionado com o Fator 10.

Vamos analisar, nesse momento, um dos objetos de estudo referidos acima, a função social: **nutrição**, num horizonte de 50 anos. Em seminários com participantes apresentando diferentes perfis profissionais, procurou-se identificar a visão + 50 anos, dando início ao processo de “*retrojetar*”.

Aos alunos:

Retrojetar (neologismo da língua portuguesa) significa estabelecer objetivos desafiadores, considerados até mesmo impossíveis nas condições atuais, a serem atingidos a longo prazo, que impliquem uma melhoria dos padrões de ecoeficiência. A partir daí então, volta-se à realidade atual, identificando os avanços necessários para o atingimento da meta estabelecida.

A seguir relacionamos os objetivos e os avanços propostos no processo de retrojetar referido:

- melhoria na gestão e uso da energia solar, obtido a partir de: aumento da quantidade de energia solar fixada na forma de biomassa, uso de estufas solares (casas de vidro) e mecanismos para distribuir de forma mais balanceada a energia solar;
- adoção de sistemas de produção baseados em ciclos fechados. No caso de culturas a céu aberto, uso de resíduos de uma parte do ciclo, como, por exemplo, resíduos animais, servindo de nutrientes para plantas. No caso de culturas fechadas, uso de pesticidas e nutrientes em ciclos fechados (hidroponia);
- melhor integração das culturas com os sistemas naturais;
- redução do uso de insumos, desde nutrientes e pesticidas até energia solar, a partir da modificação genética das plantas;

- melhor uso da biomassa, de forma que uma maior parcela da planta seja comestível;
- redução de perdas com armazenamento, transporte e com a conversão animal;
- maior integração entre oferta e demanda, assegurando que a produção ocorra mais próxima do mercado e mais alinhada com este;
- desenvolvimento de alimentos alternativos que possam, pelo menos parcialmente, substituir as tão ecoineficientes proteínas animais.

Questão para reflexão:

- Você teria algum outro tema a ser considerado? Você acha que a modificação genética oferece segurança suficiente para ser considerada?

Com base nas propostas que foram identificadas anteriormente, discutiu-se a viabilidade dos avanços, científicos e tecnológicos, bem como do processo evolutivo da cultura de consumo, à luz da necessidade de redução dos encargos ambientais decorrentes do sistema nutricional.

As principais rotas de inovação sistematizadas foram:

- Uso multifuncional sustentável da terra;
- Ambientes de produção fechados e controlados;
- Uso completo de plantas e biomassa através da conversão integral;
- Alimentos à base de novas proteínas;
- Tecnologia de sensores.

USO MULTIFUNCIONAL DA TERRA

O uso atual da terra, hiperespecializado, exige uma série de cuidados que seriam naturalmente providos em sistemas mais equilibrados. Entre esses cuidados estão a inserção de insumos, a recuperação da qualidade das águas e a reserva de áreas de proteção ambiental.

O uso multifuncional considera a terra como provedora não apenas de produtos como hortaliças, legumes, cereais, madeiras e pecuária, mas também de serviços como gestão de recursos hídricos, captação de energia, regulação climática, lazer e recreação e proteção à biodiversidade.

Para poder se fazer uso multifuncional da terra, a visão de produção tem que mudar da atual exploração especializada para empreendimentos multifuncionais. A depender da vocação local, eles podem ter ênfases específicas, sem contudo perder o caráter multifuncional.

Nesse sentido, alguns gargalos tecnológicos devem ser superados através da pesquisa: fechamento de ciclos de nutrientes; retorno de restos domiciliares na forma de nutrientes para a terra; sistemas avançados de rotação de culturas; captação e transformação de energia solar, eólica, hídrica.

O estudo dessa rota identificou possibilidades de aumento da ecoeficiência, num fator na ordem de grandeza de 20 vezes, com as medidas anteriormente consideradas.

AMBIENTES DE PRODUÇÃO FECHADOS E CONTROLADOS

Levou-se em consideração a produção de frutas, flores e vegetais para saladas, em estufas de vidro. Entre as ineficiências discutidas estão: elevado consumo de gás natural necessário para aquecimento e geração de ambientes internos com alto teor de CO₂ (este uso representa hoje 10% do gás natural consumido na Holanda) e perdas para o ambiente externo de energia solar, água e nutrientes nos modelos atuais de estufas.

Um dos maiores entraves para o aumento da ecoeficiência neste setor é a distribuição irregular da energia solar, tanto em termos diários como sazonais. A este “problema” agrega-se a baixa transformação da energia solar em biomassa. Em outras palavras, os holandeses estão questionando o dia e a noite, o verão e o inverno e a fotossíntese. Argumentam que mais da metade da radiação ocorre na forma de ondas, cujo comprimento não permite seu aproveitamento pelas plantas. O que fazer? Simples, instalar captadores solares semitransparentes que aproveitem, para a geração de energia elétrica, as ondas de radiação que as plantas ignoram. As plantas também podem ser educadas, através da biotecnologia, para não serem tão desperdiçadoras de energia!

Mas para poder distribuir a energia de forma mais homogênea é necessário desenvolver mecanismos de armazenamento da energia captada. Para isso considera-se o armazenamento da energia nas águas subterrâneas e sua recuperação através de bombas de calor. O uso de fibras óticas para o transporte de radiação solar também representa uma possibilidade.

É interessante observar ainda que com as tecnologias apresentadas a questão do espaço para o plantio passa a ter importância marginal, abrindo-se espaço para considerar a relocação de algumas atividades agrícolas para os centros urbanos, não estão sendo cogitadas as periferias, mas sim os próprios centros urbanos!

Entre os desenvolvimentos tecnológicos apontados para enfrentar essas deficiências, considerou-se necessário avanços na área de sensores e de recuperação e disponibilização eficiente dos nutrientes originários de resíduos domésticos. São também indispensáveis avanços no que se refere à gestão de nutrientes e água em ciclo fechado, assim como no transporte de luz solar.

USO COMPLETO DE PLANTAS E BIOMASSA ATRAVÉS DA CONVERSÃO INTEGRAL

“O conceito de conversão integral de plantas e biomassa refere-se à completa extração de todos os ingredientes úteis contidos nas estruturas moleculares das plantas, formados durante a fotossíntese.”

Duas grandes ineficiências da cadeia nutricional são apontadas quando consideramos esta opção:

- grande parcela da biomassa, apesar de conter grandes quantidades de proteínas, gorduras, vitaminas, saborizantes e corantes, não é aproveitada;
- a produção de carne e leite da pecuária convencional é uma forma ineficiente de atender às demandas nutricionais e produz elevadas demandas ambientais.

Dessa forma, se for possível produzir substitutos para a carne e derivados, a partir da parcela de biomassa não aproveitada, ou melhor, desperdiçada hoje, um duplo ganho ambiental poderia ser atingido.

Evidentemente que esta proposta tem um forte viés a ser considerado, além do tecnológico: o comportamento do consumidor, que ora busca alimentos mais saudáveis e ora mantém a opção tradicional por carne e derivados do leite. É certo, no entanto, que só serão realizados investimentos consideráveis nesta direção se as mudanças forem aceitas pelo mercado. Isso aponta, portanto, para uma linha de esforços adicionais aos meramente tecnológicos.

As mudanças necessárias nesta área indicam a necessidade de reestruturação da forma de se pensar o plantio, que atualmente é dirigida para a produção de um único produto e variados resíduos. Na verdade, o foco deveria ser na produção de vários produtos e nenhum resíduo. Para tal é preciso assumir algumas diretrizes:

- geração de tecnologia compacta que permita a extração de compostos valiosos dos resíduos, nos próprios locais de produção;
- minimização do transporte de imensas quantidades de biomassa, que só geram resíduo em nível do consumidor;
- maior ênfase em “economias de enfoque” do que em economias de escala, como é tradicionalmente considerado no processo de inovação;
- adoção de linhas de pesquisa que permitam transformações *in situ*, considerando equipamentos (“biorrefinarias”), materiais de suporte (catalisadores) e uma logística para o transporte dos produtos para os centros de processamento.

ALIMENTOS À BASE DE NOVAS PROTEÍNAS

Este aspecto envolve uma polêmica muito grande e pode servir para exemplificar algumas das principais dificuldades para se atingir o Fator 10. Como sempre, enquanto estamos mexendo com os outros, qualquer inovação é aceitável. Esta proposta, porém, considera a necessidade de mudança de hábitos alimentares, e isto atinge a todos nós, portanto a situação pode ser muito mais difícil do que parece.

Uma das maiores ineficiências da cadeia nutricional está na transformação de proteínas vegetais em animais. Para atingir níveis sensivelmente maiores de ecoeficiência, o consumo de proteínas de origem animal tem que ser reduzido. Pode-se apontar algumas

alternativas, como o uso de substitutos: atualmente, verifica-se a existência de mais de 50 fontes de proteínas, a serem obtidas de plantas e bactérias, desde feijões e ervilhas geneticamente modificados até bactérias, como a *Spirulina* e a *Fusarium*, e combinações desses, que se agregariam aos já bastante utilizados soja e glúten.

A produção de muitas dessas proteínas pode representar uma melhoria no uso de recursos naturais da ordem de grandeza de Fator 20 a 40, além de grandes reduções de custo. Mas o público aceitaria esses substitutos?

Duas linhas de discussão parecem surgir a partir deste ponto. Uma, na direção da alimentação natural e vegetariana; outra, na direção da alimentação com substitutos da carne, desde que tenham gosto similar. Apesar de estar crescendo bastante, a alimentação sem carne ainda ocupa um tímido espaço na nossa sociedade e precisaria de fortes estímulos para se expandir. Por outro lado, a demanda de carne pelo seu gosto tem que ser considerada, e nesse sentido o altíssimo consumo da linha de hambúrgueres e salsichas, isto é, produtos de carne mecanicamente alterada, oferece a oportunidade de uma gradual introdução de alimentos à base de novas proteínas.

Os principais gargalos neste aspecto são socioculturais e econômicos, a exemplo de mudanças radicais que afetam um setor produtivo inteiro e que envolvem recursos humanos, empregos e capitais, além da questão dos hábitos alimentares, antes citada. Assim sendo, é requerida uma intensa discussão com todos os parceiros desta cadeia produtiva e uma superação da desconfiança que hoje é sentida na nossa sociedade com relação a alimentos com compostos geneticamente modificados, que por sua vez dependem de mudanças radicais nas atitudes de ambas as partes (consumidor e produtor).

TECNOLOGIAS DE SENSORES

Para se atingir os níveis de eficiência de conversão de recursos naturais em alimentos, discutidos até o momento, é necessário contar com mecanismos de transferência de informação bem mais avançados do que os que dispomos atualmente. O comportamento dos recursos naturais – CO₂, luz solar, água, solo, plantas, nutrientes e doenças – tem que ser minuciosamente controlado. Para seu monitoramento é necessário o desenvolvimento

de novos e mais eficientes sensores, que permitam a captação da informação necessária de forma a ser processada em tempo real para gerar as devidas respostas.

Abre-se, então, um leque de novas oportunidades de desenvolvimento tecnológico em áreas diferentes das até aqui discutidas. Weaver e colaboradores apresentam uma lista de necessidades de informação e de tecnologias de sensores a ser considerada:

- Biossensores, sensores elétricos e óptico-químicos, e sistemas de microanálise, para informar a composição química de meios complexos como solos, água, compostos orgânicos e biomassa;
- Tecnologia nuclear e de alta energia, espectroscopia, radar e ultra-som, para obter informações sobre as condições e necessidades das plantas e animais;
- Sensores físicos como de luz, ópticos, sensores eletrônicos de gases, para aquisição de informações ambientais e microclimáticas, tais como teor de CO₂ e luz;
- Sensoramento remoto para localização e definição da forma e estrutura das plantas em relação ao seu meio.

FECHAMENTO

A discussão sobre a experiência do governo holandês na definição de estratégias para alcançar o desafio do Fator 10 teve como objetivo dar uma idéia do nível de esforço e do grau de inovação que precisam ser atingidos.

Se temos plena convicção que a humanidade encontrará o caminho para um crescimento sustentável, é importante também reconhecer que para tal faz-se necessário promover uma mudança de mentalidade. A diretriz a ser adotada é a quebra de paradigmas e a adoção de práticas inovadoras de inovação.

Assumir desafios com base numa projeção do futuro, retrojetando os avanços necessários para se atingir objetivos, num horizonte cada vez maior, é a chave para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- AKEHATA, T. Pollution prevention by minimizing waste generation in a chemical production process. **J. Chem. Eng. Japan**, v. 24, n. 3, p. 273-283, 1991.
- ALLEN, D. T.; ROSSELOT, K. S. **Pollution prevention for chemical processes**. New York: Wiley, 1997.
- ALLENBY, B. R. **Industrial ecology: policy framework and implementation**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
- _____; RICHARDS, D. J. (Ed.). **The greening of industrial ecosystems**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1994.
- ALLEY, E. R. **Air quality control handbook**. New York: McGraw-Hill, 1998.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Water treatment**. New York: McGraw-Hill, 1995.
- ANDRADE, J. C. S.; MARINHO, Márcia M. O.; KIPERSTOK, Asher. Diretrizes para uma política nacional de meio ambiente focada na produção limpa: elementos para discussão. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v.10, n. 4, p. 326-332, mar. 2001.
- ASHLEY, S. Designing for the Environment. **Mechanical Engineering**, p. 52-55, mar. 1993.
- AYRES, R. U.; AYRES, L. W. **Industrial ecology: towards closing the materials cycle**. Brookfield, Vermont: E. Elgar, 1996.
- BASS, L. W. An integrated approach to cleaner production. MISRA, K. B. (Ed.). **Clean production, environmental and economic perspectives**. 1. ed. Berlin: Springer, 1996. p.211-226.
- BAGAJEWICZ, M. A review of recent design procedures for water networks in refineries and process plants. **Computers Chem. Eng**, n. 24, p. 2093-2113, 2000.
- BATHIE, W. W. **Fundamentals of gas turbines**. 2. ed. [S.l.: s.n.], 1996.
- BOA NOVA, A. C. **Energia e Classes Sociais no Brasil**. Ed. Loyola, 1985, São Paulo.

BODEN, T. A.; KANCIRUK, P.; FARRELL, M. P. **Trends '90: a compendium of data on global change**. Oak Ridge, Tenn: Oak Ridge National Laboratory, 1990. Report ORNL/CDIAC-36.

BOEHM, R. F. **Design analysis of thermal systems**. [S.l.: s.n.], 1987.

BRADSTREET, J. W. **Hazardous air pollutants**. Park Ridge, NJ: Noyes Publications, 1995.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. [Brasília]: [MME], 1997.

_____. _____. [Brasília]: [MME], 1998.

BUCHOLZ, R. A.; MARCUS, A. A.; POST, J. E. **Managing environmental issues: a casebook**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992.

BUNGAY, H. R. **Environmental systems engineering**. Boston: Kluwer Academic, 1998.

BUONICORE, A. J.; DAVIS, W. T. **Air pollution engineering manual, air and waste management assoc**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

CALABRESE, E. J. **Air toxics and risk assessment**. Chelsea-Mich: Lewis Publications, 1991.

CONSELHO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. Resolução nº 300 de 1 de junho de 1990. Estabelece os padrões de efluentes para a rede coletora dos Sistemas Orgânico e Inorgânico da Central de Tratamento de Efluentes Líquidos S.A. **Diário Oficial [do] Estado da Bahia**. Poder Executivo. Salvador, BA, 14 ago. 1990.

CHEHEBE, J. R. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. 106 p.

CNTL*1. **Manual 1 de Produção mais Limpa**. UNIDO / UNEP / CNTL / SENAI/RS. 2000.

CNTL*5. **Manual 5 de Produção mais Limpa**. UNIDO / UNEP / CNTL / SENAI/RS. 2000.

COELHO, A. **Bolsa de Resíduos: um portal de oportunidades para a Produção mais Limpa** Monografia do Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Limpas na Indústria, 65 p., UFBA, 1999.

COGERACION 1988. Ponencias. **Jornadas técnicas – IDAE**, 1989.

- COHEN, Y.; ALLEN. An integrated approach to process waste minimization research. **J. Haz. Mat.** n. 29, p. 237-253, 1992.
- COLLS, J. **Air pollution: an introduction**. New York: E&FN Spon, 1997.
- CONJUNTURA ECONÔMICA. Rio de Janeiro, v. 51, n. 2, fev. 1997. Edição Especial.
- _____. Rio de Janeiro, v. 52, n. 2, fev. 1998.
- _____. Rio de Janeiro, v. 51, n. 6, jun. 1997.
- COOPER, C. D.; ALLEY, F. C. **Air pollution control: a design approach**. 2. ed. Prospects Heights, Ill.: Waveland Press, 1998.
- CRAMPTON, N. **Preventing waste at the source**. Boca Raton, Fla: Lewis Publications, 1999.
- CURRAN, L. M. A. Waste minimization practices in the petroleum refining industry. **J. Haz. Mat.** v. 29, p. 189-197, 1992.
- PAUL, D. M; THUMANN A. **Handbook of energy engineering**. 3. ed. [S.l.: s.n.], 1994.
- DAVIS, M. L.; CORNWELL, D. A. **Introduction to environmental engineering**. 3. ed. Boston-Mass: WCB McGraw-Hill, 1998.
- DE NEVERS, N. **Air pollution control engineering**. New York: McGraw-Hill, 1995.
- DOE; HMIP (Eds.). **Integrated pollution control: a practical guide**. HMSO, 1991, 57 p.
- DOE; Scottish Development Department; Welsh Office; DoE for Northern Ireland. **The UK program and National plan for reducing emissions of sulphur dioxide and oxides of nitrogen from existing large combustion plants**. 20th. dec., 1990.
- DOUGLAS, J. M. **Conceptual design of chemical processes**. Singapore: McGraw Hill, 1988. v. 1.
- _____. Process synthesis for waste minimization. **Ind. Eng. Chem. Res.** v. 31, n. 1, p. 238-243, 1992.
- DROSTE, R. L. **Theory and practice of water and wastewater treatment**. New York: Wiley, 1997.

EDGERLY, D. E. (ed.). **Opportunities for innovation: pollution prevention**. Lancaster, PA: Technomic Publishing Co, 1995.

EL-HALWAGI, M. M. **Pollution prevention through process integration: systematic design tools**. San Diego: Academic, 1997.

_____.; PETRIDES, D. P. (ed.). **Pollution prevention via process and product modifications**. New York: American Inst. of Chem. Engineers, 1995.

_____.; MANOUSIOUTHAKIS, V. Automatic synthesis of mass exchange networks with single-component targets. **Chem. Eng. Sci.**, v. 45, n. 9, p. 2813-2831, 1990.

_____. Synthesis of mass exchange networks. **AIChE Journal**, v. 35, n. 8, p. 1233-1244, 1989.

ENERGY EFFICIENT BUILDING ASSOCIATION. **Information on resource and energy-efficient buildings**. [s.n.t]

EPA. **Toxics release inventory, office of pollution prevention and toxics**. U.S. Environmental, 1990.

EVERETT, L. J. **Understanding engineering systems via conservation**. New York: McGraw-Hill, 1994.

FERNANDES, J. V. G. et al. **Introducing Cleaner Production Practices in Certifiable Environmental Management Systems: a practical proposal**. ERCP, 2001.

_____. et al. **Introduzindo Práticas de Produção mais Limpa em Sistemas de Gestão Ambiental Certificáveis: Uma Proposta Prática**. Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Rio de Janeiro. 2001. p 157-164.

FERREIRA, R. A. R.; MAGNANI, M.; SOUZA, M. P. **Gestão ambiental: A relação entre certificação e garantia da adequação**. Rio de Janeiro: UFRJ/ PUC, 1999.

FURTADO, J. S. ISO-14001 e Produção Limpa: importantes, porém distintas em seus propósitos e métodos. Disponível na internet em www.vanzolini.org.br/producaolimpa, 2000.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R. **Design for environment**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1997.

_____. **Industrial ecology**. 1. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1995, 412 p.

_____. **Industrial ecology and the automobile**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1998. 243p.

- HAAS, C. N.; VAMOS, R. J. **Hazardous and industrial waste treatment**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995.
- HAMILTON, R.; DOWSON, D. **Pinch cleans up**. [S.l.]: TCE, 1995.
- HÉMERY, D. et al. **Uma história da energia**. [S.l.]: UnB, 1993.
- HIGGINS, T. E. **Pollution prevention handbook**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. 556 p.
- HINES, A. L. et al. **Indoor air quality and control**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1993.
- HOLMES, G.; SINGH, B. R.; THEODORE, L. **Handbook of environmental management and technology**. New York: Wiley, 1993.
- HOOFF, B. V. **Análisis de ciclo de vida (ACV) y su aplicación en Colombia**. Santa Fe de Bogotá: [s.n.], 2000.
- HOUGHTON, J. T.; JENKINS, G. J.; EPHRAUMS, J. J. (Ed.). **Climate change: The IPCC scientific assessment**. Cambridge, U.K: Cambridge University Press, 1990.
- HYNNINEN, P. (Ed.). **Environmental control**. Helsinki, 1998. Finnish Paper Engineers Assoc. and TAPPI.
- JACKSON, T. **Clean production strategies: developing preventive, environmental management, in the industrial economy**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. 415 p.
- KEOLIEIAN, G. **Industrial ecology of the automobile: a life cycle perspective**. Warrendale, PA: Soc. of Automotive Engineers, 1997.
- KIELY, G. **Environmental engineering**. New York: McGraw-Hill, 1997.
- KIPERSTOK, A. **Tendências ambientais do setor automotivo: prevenção da poluição e oportunidades de negócios**. [S.l.: s.n.], 2000.
- _____. SHARRATT, P. N. Controle de poluição industrial usando programação matemática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz de Iguaçu. **Anais ...** Foz de Iguaçu, 1997.
- _____. Environmental considerations for the mathematical modelling of mass exchange networks. **ICHEME Research Event Leeds**, n. 2, p. 606-608, 1996.
- _____. Optimisation of pollution control operations in industrial sites considering decay capabilities of the receptors. **Computers Chem. Eng.**, n. 21, p. S977-S981, 1997.

_____. Optimisation of the removal of bio-degradable pollutants in industrial mass exchange networks considering decay capabilities of the receptors. **ICHEME Research Event**, v. 1, p. 169-171, 1997.

KIRKWOOD, R. C.; LONGLEY, A. J. **Clean technology and the environment**. New York: Blackie Academic and Professional, 1995.

KOTAS, T. J. **The exergy method of thermal plant analysis**. Butterworths, 1 Ed. London, UK, 1995

LaGREGA, M. D.; BUCKINGHAM, P. L.; EVANS, J. C. **The environmental resources management group: Hazardous Waste Mangement**. Singapore: McGraw-Hill, 1994. 1146 p.

LAUZON, C.; WOOD, G. (Ed.). **Environmentally responsible packaging**. Leatherhead, U.K: Pira International, 1995.

LA ROVERE. **Descentralização no setor elétrico brasileiro: o novo papel do Estado**, Curso de extensão, Salvador 1988.

LINDFORS, Lars-Gunnar (Org.). **Nordic guidelines on life-cycle assessment**. Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 1995. 227 p.

LINNHOFF, B. **Pinch analysis, a state of the art overview**. Trans IChemE/A 71, 1993, p. 503-522.

_____. Use pinch analysis to knock down capital costs and emissions. **Chem. Eng. Progress**, p. 32-57, aug., 1994.

_____ et al. **Users guide on process integration for the efficient use of energy**. Rugby: ICHME, 1982. 247 p.

_____; SMITH, R. The pinch principle. **Mechanical Engineering**, p. 70-73. feb., 1988.

LUND, H. F. (Ed.) **The McGraw-Hill recycling handbook**. New York: McGraw-Hill, 1993.

MANAHAN, S. E. **Industrial ecology: environmental chemistry and hazardous waste**. Boca Raton, Fla: Lewis Publications, 1999.

- MARINHO, M. M. O.; KIPERSTOK, Asher. Ecologia Industrial e prevenção da poluição: uma contribuição ao debate regional. **Tecbahia**, v. 15, n. 2, p. 47-55. 2000.
- MASTERS, G. M. **Introduction to environmental engineering and science**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1991.
- METHA, P. D; THUMANN, A. **Handbook of Energy Engineering**. 3 rd Edition. 1994.
- MISRA, K. B. (Ed.). **Clean production**. Berlin: Springer, 1996. 853 p.
- MOKHIBER, R. **Crimes corporativos: o poder das grandes empresas e o abuso da confiança pública**. 1 ed. São Paulo: Scritta, 1995, 394p.
- MORAN, M. J.; SAPHIRO, H. N. **Fundamentals of engineering thermodynamics**. 4. ed. New York: Jonh Wilcy e Sons, 1998.
- MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1997, 292 p.
- MULHOLLAND, K. L.; DYER, J. A. **Pollution prevention: methodologies, technologies and practices**. New York: American Inst. of Chem. Engineers, 1999.
- NASCIMENTO, I. A. Comportamento de poluentes no segmento biótico. As substâncias tóxicas persistentes. Inserção de substâncias tóxicas na cadeia alimentar. In: **Módulo de aula do curso de especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria**. Salvador: UFBA, 2000.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA. **Environmental case studies of chemical processes**. [Canadá]: ICPET, s.d.
- NELSON, K. E. Use these ideas to cut waste. **HC PRO**, p. 93-98, mar., 1990.
- NEMEROW, N. L. **Zero pollution for industry: waste minimization through industrial complexes**. New York: Wiley, 1995.
- NOGUEIRA, L. A. H. **Cogeração – uma introdução**. [S.l.: s.n.], 1996.
- NOYES, R. (Ed.) **Pollution prevention technology handbook**. Park Ridge, NJ: Noyes Publications, 1993.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara. 1988.
- OECD. **Climate change: mobilising global effort**. Washington, D.C.: Organization for Economic Co-operation and Development, 1997.

_____. **Handbook of incentive measures for biodiversity**. Washington, D.C.: Organization for Economic Co-operation and Development, 1999.

OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY. **Trends in Canada – 1990 to 1996**: a review of indicators of energy use, energy efficiency and emissions. Ottawa: Natural Resources Canada, 1998.

OIL&GAS JOURNAL LATINOAMÉRICA. **Pronóstico y examen estadístico**, v. 5, n. 3, p. 26, may/jun., 1999. fig. 3.

O'RIORDAN, T. et al (Eds.). **Environmental science for environmental management**. 1. ed. Harlow: Longman Group Ltd, 1995, 369 p.

OSTLER, N. K. (Ed.). **Industrial waste stream generation**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1998.

PARIKH, J. et al. Padrões de consumo, a força propulsora do esgotamento ambiental. In: MAY, P.H.; SEROA DA MOTTA, R. (Eds.) **Valorando a natureza, análise econômica para o desenvolvimento sustentável**. 1st ed. Rio de Janeiro: Campus Ltda., 1994, p.1-10.

PATRICK, K. L. (Ed.). **Advances in paper recycling**. San Francisco: Miller Freeman Books, 1994.

PENEDA, M. C. **Produção mais Limpa**. São Paulo: INETI/ITA – Instituto de Tecnologias Ambientais, 1996.

_____; FRAZÃO, R. (Eds.). **Eco-efficiency and factor 10**. Proceedings of the workshop: Polo Tecnológico de Lisboa ed. Lisboa: INETI/ITA, 1997, 79 p.

PIO R. **Produção limpa, prevenção da poluição e ecoeficiência**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <pio@assess.com.br> em 2000.

PORTER, M.; LINDE VAN DER, C. Green and competitive. **Harvard Business Review**, p. 120-134, sept./oct., 1995a.

_____. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. **Jour. Econ. Persp**, v. 9, n. 4, p. 97-118, fall, 1995b.

POULALLION, Paul. Gás natural em sinuca. **Conjuntura Econômica**, Rio de Janeiro, v. 51, n. 2, maio, 1997. Edição especial – Energia em Debate.

PROCEL – Programa de Combate ao Desperdício de Energia. **Orientação para projetos de iluminação pública eficiente**. maio, 1999.

PRESTRELO, R. C.; AZEVEDO, P. R. ISO 14000 & Produção mais Limpa: Solução para um Sistema de Gestão Ambiental mais Efetivo ou Abrangente. Monografia do Curso de Especialização de Gerenciamento de Tecnologias Ambientais na Indústria. 2000. 80p

RANDALL, P. M. (Ed.). **Engineers' guide to cleaner production technologies**. Lancaster, PA: Technomic Publishing, 1996.

RAY, B. T. **Environmental engineering**. Boston: PWS, 1995.

REMMEN, A.; HOLGAARD, J. E. Green accounts: a tool for promoting environmental improvements? In: EUROPEAN ROUNDTABLE ON CLEANER PRODUCTION, 26., 1999, Budapest. **Proceedings...** Budapest: Hungary, 1999.

REVISTA BRASIL ENERGIA, n. 205, nov. 1997.

REVISTA PETRO&QUÍMICA. jan./fev. 1997.

REYNOLDS, T. D.; RICHARDS, P. A. **Unit operations and processes in environmental engineering**. 2. ed. Boston: PWS, 1996.

RICHARDS, D. J. (Ed.) **The industrial green game**: implications for environmental design and management. Washington, D.C.: National Academy Press, 1997.

RICHARDSON, P. E.; SCHEINER, B. J. (Ed.) **Pollution prevention for process engineers**. New York: American Inst. of Chem. Engineers, 1996.

ROSSITER, A. P. (Ed.) **Waste minimization through process design**. New York: McGraw-Hill, 1995.

RYDBERG, T. Environmental lifecycle assessment – a basis for sustainable product development. In: MISRA, K. B. **Clean production, environmental and economic perspectives**. 1. ed. Berlin: Springer, 1996, p. 387-404.

SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering**. 4. ed. Singapore: McGraw-Hill, 1994. 658 p.

SCHMIDT-BLEEK, F. The MIPS concept and factor 10. In: PENEDA, C.; FRAZÃO, R. (Eds.) **Eco-efficiency and factor 10**. Proceedings of the workshop Polo Tecnológico de Lisboa ed. Lisboa: INETI/ITA, 1997.

SCHNOOR, J. L. (Ed.). **Environmental modelling, fate and transport of pollutants in water, air and soil**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 682 p.

SHARRATT, P. N.; KIPERSTOK, A. Environmental optimisation of releases from industrial sites into a linear receiving body. **Computers Chem. Eng.**, n. 20, p. S1413-S1418, 1996.

SHEN, T. T. **Industrial pollution prevention**. Berlin: Springer, 1999.

_____. **Industrial pollution prevention**. Berlin: Springer, 1995. 371 p.

SHOEPS, C. A. **Conservação de energia elétrica na indústria, faça você mesmo**. 3. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 1994.

SINCERO, A. P.; SINCERO, G. A. **Environmental engineering: a design approach**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.

SMITH, R.; DELABY, O. Targeting flue gas emissions. **Trans IChemE/A**. n. 69, p. 492-505, 1991.

_____; PETELA, E. Waste minimization in the process industry. **TCE special reprint**. 1992.

_____. Wastewater minimisation and the design of effluent treatment systems using pinch analysis. **IChemE Env. Prot. Bul.** n. 30, p. 5-10, 1994.

SMITH, R.; PETELA, E.; WANG, Y. Water, everywhere. **TCE**, 1995.

SOCLOW, R. et al (Ed.). **Industrial ecology and global change**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1994.

SRINIVAS, B. K.; EL-HALWAGI, M. M. Synthesis of reactive mass-exchange networks with general nonlinear equilibrium functions. **AIChE Journal**, v. 40, n. 3, p. 463-472, 1994.

STEAM, its generation and use. 40. ed. [S.l.]: Babcock & Wilcox Co., 1992.

SZARGUT et al., **Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical processes**. Hemisphere Publishing Co., New York; USA. 1988.

TANIMOTO, A. H. et al. A Legislação brasileira das substâncias destruidoras da camada de ozônio e sua aplicação no estado da Bahia. **Tecbahia**, Bahia, v. 14, n. 2, p. 74-81, maio/ago. 1999.

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated solid waste management**. New York: McGraw-Hill, 1993.

THEODORE, L.; DUPONT, R. R.; REYNOLDS, J. **Pollution prevention: problems and solutions**. Lausanne: Gordon and Breach, 1994.

_____.; McGUINN, Y. C. **Pollution prevention**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

THOMAS, R. (Ed.) **Environmental design: an introduction for architects and engineers**. New York: E&FN Spon, 1996.

THOMAS, V.; SPIRO, T. G. Emissions and exposure to metals: cadmium and lead. In: SOCOLOW, R. et al. (Ed.). **Industrial ecology and global change**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1994.

TORRES, E. A. **Geopolítica do Petróleo**, Apostila Salvador, 1999.

_____. Avaliação exergética e termoeconômica de um sistema de cogeração de indústria petroquímica. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA, 3., 1997, Cuba. **Anais ...** Cuba: Universidade de Havana, 1997. 1 CD.

_____. Avaliação termoeconômica de um sistema de cogeração de indústria petroquímica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 14., 1997, Bauru. **Anais...** Bauru, SP: [s.n.], 1997. 1 CD.

_____. Exergetic evaluation of cogeneration system in a petrochemical complex. **Energy Convers**, v. 39, n. 16-18, p. 1845-1852, 1998.

_____. _____. Florença, Itália: [s. n.] 1997.

_____. Metodologia e software para redução do consumo de energia em residências In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 2., 1994, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 1994.

_____. **Desenvolvimento de Metodologia e software para redução do consumo de energia em residências e condomínios**. ENCIT.USP. São Paulo. 1994.

_____. Petroquímica, energia e competitividade: com particularidades para o pólo do nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 7, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 1996, v. 3, p. 1424-1435.

TURNER, R. K. Environmental economics and management. In: O'RIORDAN, T. (Ed.) **Environmental science for environmental management**. 1. ed. Harlow: Longman Group Ltd, 1995, p. 30-44.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA. Escola Politécnica. **Diagnóstico energético da cerâmica POTY**. Salvador: Departamento de Engenharia Química / Laboratório de Energia, 1995.

VAN W, G. J.; SONNTAG, R. W. **Fundamentos da termodinâmica clássica** 4. ed. Rio de Janeiro: Edgard Blücher, 1995.

VEJA. Rio de Janeiro, v. 30, n. 49, 10 dez. 1997.

VELLINGAR, P.; BERKHOUT, F.; GUPTA, J. **Managing a material world**: perspectives in industrial ecology. Boston: Kluwer Academic, 1998.

VESILIND, P. A. **Introduction to environmental engineering**. Boston: PWS, 1997.

WANG, Y. P.; SMITH, R. Design of distributed effluent treatment systems. **Computers Chem. Eng.** v. 49, n. 18, p. 3127-3145, 1994.

WBCSD; UNEP (Eds.). **Eco-efficiency and cleaner production**. 1. ed., 1996. 17 p.

WORLD BANK. **Pollution prevention and abatement handbook, 1998**: towards cleaner production. Washington, D.C.: World Bank Group, 1999.

SITES AMBIENTAIS INTERESSANTES

- <http://es.epa.gov>. Acessado em 15/02/2002.
- <http://es.epa.gov/oeca/sector/index.html> . Acessado em 10/05/2002.
- <http://es.epa.gov/techinfo/case/case.html>. Acessado em 15/02/2002.
- <http://greenmfg.me.berkeley.edu/green/Home/Index.html>.
Acessado em 15/02/2002.
- <http://terrassa.pnl.gov:2080/DFE>. Acessado em 15/02/2002.
- <http://virtualoffice.ic.gc.ca>. Acessado em 15/02/2002.
- <http://www.cempre.org.br/index2.htm>. Acessado em 08/05/2002.
- <http://www.cnrh-srh.gov.br>. Acessado em 08/05/2002.
- <http://www.ec.gc.ca>. Acessado em 15/02/2002.
- <http://www.ec.gc.ca/pdb/npri/index.html> Acessado em 24/04/2002.
- <http://www.eeba.org> Acessado em 16/01/2002.
- <http://www.ene.gov.on.ca> Acessado em 07/01/2002.
- <http://ea.gov.au/industry/eecp> Acessado em 15/02/2002.
- <http://www.epa.gov>. Acessado em 15/02/2002.
- <http://www.epa.gov/opptintr/acctg/download/download.htm>
(software p/ aval. finan. progr. P2). Acessado em 15/02/2002.
- <http://www.epa.gov/opptintr/library/ppicdist.htm>.
Acessado em 15/02/2002.
- [http:// www.esevier.nl/locate/jclepro](http://www.esevier.nl/locate/jclepro). Acessado em 08/05/2002.
- <http://www.hidricos.mg.gov.br/>. Acessado em 08/05/2002.
- <http://www.iams.org> Acessado em 18/02/2002.
- <http://www.icme.com> Acessado em 18/02/2002.
- <http://www.iiasa.ac.at>. Acessado em 18/02/2002.

<http://www.oceta.on.ca> Acessado em 18/02/2002.

<http://www.oecd.org/env>. Acessado em 18/02/2002.

<http://www.proagua.gov.br/>. Acessado em 08/05/2002.

<http://www.tappi.org/public/divisions/environmental.asp>.
Acessado em 24/04/2002.

<http://www.unido.org:80/doc/what.htmls>. Acessado em 24/04/2002.

<http://www.vanzolini.org.br/areas/desenvolvimento/producaolimpa>.
Acessado em 24/04/2002.

<http://www3.ec.gc.ca/cppic>. Acessado em 24/04/2002.

SOBRE OS AUTORES

Asher Kiperstok

Engenheiro civil, mestre em Tecnologias Ambientais, PhD em Tecnologias Ambientais, professor adjunto do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal da Bahia – UFBA, coordenador da Rede de Tecnologias Limpas – TECLIM/UFBA e do Programa de Pós-graduação em Produção Limpa – UFBA. (asher@ufba.br)

Arlinda Coelho

Química industrial, especialista em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria, mestranda em Gerenciamento Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo e coordenadora Técnica do Núcleo de Produção mais Limpa – NPL/BA, sediado no SENAI da Bahia. (arlinda@cetind.fieb.org.br)

Ednildo Andrade Torres

Engenheiro mecânico, mestre em Engenharia Mecânica/Térmica, doutor em Engenharia Mecânica/Energia, professor adjunto do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Bahia – UFBA. (ednildo@ufba.br)

Clarissa Campos Meira

Engenheira civil, especialista em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria e mestranda em Engenharia Ambiental Urbana. (clarissacampos@ig.com.br)

Sean Patrick Bradley

Arquiteto paisagístico, especialista em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria e mestrando em Engenharia Ambiental Urbana. (spbradley@ig.com.br)

Marc Rosen

Engenheiro mecânico, mestre em Engenharia Mecânica, PhD em Engenharia Mecânica e professor da Ryerson Polytechnic University, Canadá, e, atualmente, diretor da School of Manufacturing Engineering, University of Ontario Institute of Technology. (marc.rosen@uoit.ca)

SENAI/DN

COTED – Unidade de Conhecimento Tecnologia da Educação

Alberto Borges de Araújo
Coordenador

Elaboração

Arlinda Coelho SENAI/BA

Orientação Pedagógica

Valquíria de Aleluia Nunes SENAI/BA

Dulcinéia Maria Sabino Silva SENAI/BA

Lilian Soares Delfino SENAI/BA

Revisão Técnica da Área Ambiental

Rosângela Mitiyo Handa SENAI/PR

Tadeu Pabis Jr. SENAI/PR

Acompanhamento Editorial

Luís Fernando de Meira Fontes SENAI/DN

Paula Martini SENAI/DN

COTIN – Unidade de Conhecimento Tecnologia Industrial

Marcus Carvalho Fonseca
Coordenador

COINF – Unidade de Conhecimento Informação Tecnológica

Fernando Ouriques
Normalização Bibliográfica

Elaboração

Asher Kiperstok
Consultor

Ednildo Andrade Torres
Consultor

Clarissa Campos Meira
Bolsista do PROCES (Programa de Capacitação para Ensino Superior da Universidade Federal da Bahia – UFBA/CAPES/CADCT)

Sean Patrick Bradley
Bolsista do PROCES (Programa de Capacitação para Ensino Superior da Universidade Federal da Bahia – UFBA/CAPES/CADCT)

Marc Rosen
Consultor

Ilustração

Lídia Pitta
Figura 1.2 - Nordeste retirante

Colaboração

Syomara Barreto Santiago
Consultora

Roberto Azul

Revisão Gramatical

Giselle Maria Paula, Silvia Soffiatti e Maria Edviger Zeny

Tradução inglês-português

Ana Monteleone/Sylvio Nogueira • Prisma

Projeto Gráfico e Editoração

SENAI/DN

PROJETO ESTRATÉGICO NACIONAL

**Desenvolvimento Integrado de Cursos para Educação a Distância
com Recursos Multimídia via Internet**

COTED – Unidade de Conhecimento Tecnologia da Educação

Alberto Borges de Araújo
Coordenador

Grupo Gestor do Projeto

Alexandre Magno Leão dos Santos	SENAI/MG
Carlos Roberto Oliveira de Souza	SENAI/BA
Paulo Fernando Presser	SENAI/RS
Marco Antonio Areias Secco	SENAI/PR
Mônica Machado Cavalcanti	SENAI/CE
Walter Vicioni Gonçalves	SENAI/SP

Equipe Técnica do Projeto

Cibele Reis Bittencourt	SENAI/BA
Clóvis Leopoldo Reichert	SENAI/RS
Consuelo Fernandez	SENAI/SP
Eduardo Gonçalves Filho	SENAI/SC
Fernando Schirmbeck	SENAI/RS
Genilson Alves de Araújo	SENAI/CE
Hiure Robson Betônico Araújo	SENAI/MG
Ivete Palange	SENAI/SP
Leury Giacomeli	SENAI/SP
Liliam Maria Orquiza	SENAI/PR
Luis Fernando de Meira Fontes	SENAI/DN
Márcia Donegá Ferreira	SENAI/PR
Marcos Antônio Santos	SENAI/SC
Margarete Kleis Pereira	SENAI/SC
Maria das Graças Barreto	SENAI/BA
Maria de Fátima Neves	SENAI/CE
Maria Eliane Monteiro	SENAI/DN
Maria Elisa Moreno	SENAI/RJ
Marina Vergílio Moreira	SENAI/RS
Paula Martini	SENAI/DN
Rosane Celi Ferreira	SENAI/RJ
Tânia Regina R. Virmond	SENAI/PR
Valquíria Nunes	SENAI/BA
Vera Regina Costa Abreu	SENAI/RJ
Xênia Ferreira da Silva	SENAI/MG

