

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS



Profa. Dra. Marta Regina Lopes Tocchetto

Universidade Federal de Santa Maria

Departamento de Química – CCNE

Curso de Química Industrial

Nestas páginas sopra o fluir do tempo que aparentemente tudo leva e tudo devolve, como as marés, e que só existe enquanto lhe damos crédito. Falo do tempo que é sonho, o tempo que precisa ser domesticado, como um bichinho de estimação para não nos devorar. Perdas e ganhos dependem do nosso momento e da perspectiva de quem olha (Lya Luft, 2001; p.18).

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO	4
1. 1 A interação do homem e o ambiente	4
II. GERENCIAMENTO AMBIENTAL	6
2.1 Gestão e Sustentabilidade.....	6
2.2 Estratégias de Gestão	9
2.3 Metodologias de Gestão	13
2.3.1 – Produção Limpa	22
2.3.1.1. Conceito.....	22
2.3.1.2. Fases da Produção Mais Limpa.....	24
2.4 Ferramentas de Gestão: Indicadores	27
2.4.1 Indicadores de Desempenho Ambiental	28
2.4.1.1 Requisitos para Indicadores.....	29
2.4.1.2 Indicadores Ambientais de Processo.....	30
2.4.1.3 Áreas de Abordagem na Empresa.....	30
2.4.1.4 Tipos de Indicadores Ambientais	31
2.4.1.6. Unidades de Medida dos Indicadores.....	32
2.4.1.7. Identificação dos Principais Indicadores.....	33
III. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	33
3.1.Conformidade com a Legislação Ambiental.....	33
3.2 Estrutura Ambiental Brasileira.....	34
3.2.1. Introdução.....	34
3.2.2. Estrutura.....	34
3.2.2.1. SISNAMA.....	34
3.2.2.2. CONAMA.....	36
3.2.2.3. SISEPRA – RS.....	42
3.2.2.4. CONSEMA – RS.....	43
3.2.2.5. Município.....	46
3.3 Outras Leis	46
3.3.1. Lei de Crimes Ambientais.....	46
3.4. Norma ABNT 1004 Revisada.....	47
3.4.1. Introdução.....	47
3.4.2. Definições.....	48
3.4.3. Processo de Classificação.....	48
3.4.4. Listas de Resíduos Perigosos – Os Anexos.....	48
3.5. Instrumentos Legais	50
3.5.1. Auto de Infração.....	50
3.5.2. Decisão Administrativa.....	50
3.5.3. Termo de Compromisso Ambiental.....	50

IV. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS	51
4.1 Valorização e Recuperação	52
4.1.1 Pilhas e Baterias	52
4.1.1.1 Pilhas Secas e Alcalinas	52
4.1.1.2 Baterias Recarregáveis	53
4.1.1.3 Reciclagem de Pilhas e Baterias	53
4.1.2 Lâmpadas fluorescentes	55
4.1.2.1 Reciclagem de lâmpadas	55
4.1.3 Pneus Inservíveis	57
4.2 Principais Tratamentos	59
4.2.1 Tratamentos Térmicos	60
4.2.1.1 Gaseificação	61
4.2.1.2 Pirólise	62
4.2.1.3 Incineração	65
4.2.1.3.1 Dioxinas e Furanos	66
4.2.1.3.2 O Processo	68
4.2.1.3.3 Sistemas de Proteção Atmosférica	70
4.2.1.4 Co-processamento	73
4.2.1.5 Plasma Térmico	77
4.2.2 Tratamentos Biológicos	79
4.2.2.1 <i>Landfarming</i>	80
4.2.3 Tratamentos Físicos	81
4.2.3.1 Secagem e desidratação de lodos	81
4.2.3.2 Solidificação/estabilização (S/S)	82
4.3 Disposição de Resíduos	85
4.3.1 Aterros	85
4.3.1.1 Aspectos Construtivos	87
4.3.1.2 Seleção de áreas	89
V. CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

I. INTRODUÇÃO

1. 1 A interação do homem e o ambiente

Para compreensão da questão ambiental levando em consideração a relação do homem com o ecossistema, é importante conhecer duas atitudes e posturas que dividem, filosoficamente, aqueles que se preocupam com o meio ambiente: **a conservação e a preservação ambiental**. Na **preservação ambiental** está implícito o critério da intocabilidade da natureza e do ecossistema pelo homem, acreditando-se que uma vez rompido o equilíbrio do sistema, este não mais se recomporá. Através da **conservação**, ao contrário, considera-se o aproveitamento controlado, equilibrado dos bens que constituem o ecossistema, em extensão e ritmo tais que permitam sua recomposição, de forma induzida ou inteiramente natural.

O **meio ambiente** é o resultado da conjunção de processos de origem “natural”, não humana, e de ações antrópicas; porém as ações antropogênicas adquirem uma importância considerável, pois provocam alterações profundas pelo menos a curto e médio prazo, nos processos naturais (Vieira & Weber, 1997). Além disso, já se tornou um lugar comum a percepção de que, no mundo tal como, ele existe aquilo que pertence a todos não pertence a todos da mesma maneira... Esta visão favoreceu que o homem se descompromissasse com a preservação do meio ambiente, apesar “dos seres vivos e o meio externo não poderem ser considerados como entidades separadas”, Bressan (1996), mas interdependentes.

Os fatores que tendem a baixar o crescimento potencial de um ecossistema são ditos fatores limitantes. E, o conjunto destes fatores limitantes de interesse especialmente do homem surge sob a denominação de **poluição**. Considerando um conceito mais abrangente, poluição é a modificação prejudicial em um ambiente onde se encontra instalada uma forma de vida qualquer.

A **poluição ambiental**, segundo Valle (1995), pode ser definida como toda ação ou omissão do homem que, através da descarga de material ou energia atuando sobre as águas, o solo e o ar, cause um desequilíbrio nocivo, seja de curto ou longo prazo, sobre o meio ambiente. Seus efeitos mais sensíveis são a degradação da qualidade ambiental e os prejuízos a saúde, segurança e qualidade da vida do homem, afetando a biota e as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente.

Considerando a produção industrial, Frondizi (1996), “poluição é sinônimo de desperdício e ineficiência produtiva”, dentro desta mesma visão Valle (1995) coloca, os resíduos industriais representam na maioria dos casos, perdas de matérias-primas e insumos.

A década de 80 é marcada pela entrada em vigor de legislações específicas que controlam a instalação de novas indústrias e estabelecem padrões para as emissões das indústrias existentes, desenvolvem-se empresas especializadas na elaboração de Estudos de Impacto Ambiental e Relatórios de Impacto sobre o Meio Ambiente, esta ação é vista de uma forma pró-ativa, estimulando as ações corretivas baseadas no estrito cumprimento da

lei. Neste período também, os resíduos perigosos passam a ocupar lugar de destaque nas discussões sobre a contaminação ambiental.

Em resposta a estas exigências, surgiu em 1987 a idéia de desenvolvimento sustentável¹, com o documento *Nosso Futuro Comum*, produzido pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, instituída pela Assembléia Geral das Nações Unidas, para o qual “não há limites absolutos, mas limitações impostas pelo estágio atual da tecnologia e da organização social, no tocante aos recursos ambientais, e pela capacidade da biosfera de absorver os efeitos da atividade humana”.

A indústria química manteve uma visão de descompromisso com o meio ambiente durante muitos anos, ainda hoje algumas empresas consideram que proteção ambiental e desenvolvimento econômico são excludentes. Com o objetivo de resgatar, em parte, a imagem negativa acumulada a várias décadas, surgiu no Canadá, na década de 80, o conceito de Atuação Responsável.

No Brasil em 1992 foi implantado o **Programa de Atuação Responsável**², inspirado no *Responsible Care* do Conselho Internacional das Associações da Indústria Química (*International Council of Chemical Association-ICCA*). Concebido como um processo de gerenciamento efetivo das operações industriais e de segurança dos produtos, o programa prevê, dentro do estágio de Avaliação de Progresso, mecanismos para verificar a efetividade da aplicação dos procedimentos, desde sua implantação até o pleno desenvolvimento de seus elementos.

A incorporação dos conceitos de Desenvolvimento sustentável e de atuação responsável no dia-a-dia de uma empresa requer uma mudança de cultura em todos seus níveis funcionais.

Na década de 90, o homem já consciente da importância de manter o equilíbrio ambiental e entendendo que o efeito nocivo de um resíduo ultrapassa os limites da área em que foi gerado ou é disposto, passa a internalizar os custos da qualidade de vida em seu orçamento e pagar o preço de manter limpo o ambiente em que vive. Os perigos da contaminação com pesticidas ou outros produtos tóxicos pode ocorrer tanto em regiões industrializadas ou rurais, através de resíduos de comida e através de água contaminada utilizada para consumo. Contribuiu, para tanto, o debate sobre a modernidade e a difusão das práticas de liberalismo econômico junto ao estímulo à qualidade total. Assim, as empresas passaram a assumir de forma mais intensa as suas responsabilidades ambientais.

A adesão aos conceitos de Qualidade Total contribui para que as empresas aumentem a eficiência de seus processos produtivos, passando a

¹ **Desenvolvimento sustentável** significa atender às necessidades da geração atual, sem comprometer o direito das futuras gerações atenderem a suas próprias necessidades. O conceito de necessidade pode variar de sociedade para sociedade, mas deve ser satisfeita para assegurar as condições essenciais de vida a todos, indistintamente. O conceito de limitação reconhece a necessidade da tecnologia em desenvolver soluções, que conservem os recursos limitados atualmente disponíveis e que permitam renová-los na medida em que eles sejam necessários às futuras gerações.

² **Programa Atuação Responsável** constitui-se de um conjunto de procedimentos visando à melhoria contínua nas áreas de meio ambiente, saúde e segurança do trabalho, este movimento evidencia a responsabilidade social com o meio ambiente, através da “busca simultânea de eficiência econômica, justiça social e harmonia ecológica”, Maimon (1996).

ocorrer uma convergência entre interesses técnicos, econômicos e comerciais que tendem a reduzir a geração de poluente pela indústria. A **proteção do meio ambiente** e, em particular, a luta contra a poluição exigem transformações e/ou adaptações de técnicas e processos industriais, inovações estas significativas em **três categorias**:

- **As de 1ª geração**: tecnologias de “final de linha”, reduzem a poluição mediante incorporação equipamentos de controle, sem modificar o processo de produção;
- **As de 2ª geração**: inovação de caráter preventivo consiste na redefinição dos processos de produção quanto à composição de matérias-primas e insumos;
- **As de 3ª geração**: estão associadas ao campo da biotecnologia, dos novos materiais e da eletroeletrônica que possibilitam uma larga substituição de materiais tóxicos.

Em 1992 entra em vigor a série de normas britânicas BS 7750, que serviu de base para a elaboração de um sistema de normas ambientais a nível mundial. A entrada em vigor dessas normas internacionais e a edição da série de normas ISO 14000, a somar-se com a série de normas ISO 9000 provocaram e estão provocando profundas transformações no mercado.

A compreensão da natureza, como bem público, constitui uma etapa indispensável à superação das intervenções predatórias sobre o ambiente e à identificação e controle dos grupos sociais que operam estas mudanças, Bressan (1996).

II. GERENCIAMENTO AMBIENTAL

2.1 Gestão e Sustentabilidade

Com a globalização das questões ambientais através da busca da sustentabilidade houve a necessidade de compatibilizar o desenvolvimento econômico e a preservação do meio ambiente, conseguido através da aplicação dos conceitos de gestão, pois através da gestão de um sistema ficam assegurados sua utilização, rendimento, perenidade e desenvolvimento.

A **gestão integrada** visa superar a dicotomia entre os fenômenos de degradação, as ações corretivas a serem empreendidas e a disponibilidade de recursos para a satisfação das necessidades da produção e do consumo humano. O futuro do meio ambiente depende da gestão desses recursos, tanto no caso dos mesmos estarem sendo superexplorados acarretando a degradação do meio ambiente ou quando estão sendo mal utilizados.

A promoção de uma gestão integrada de recursos naturais e do meio ambiente pode nos levar não só, ao questionamento de certas modalidades técnicas de exploração, mas também estimular a busca de transformação das condições sociais que cercam seu exercício, aparecendo como um dos principais componentes das interações entre a sociedade e a natureza.

Esta forma de gestão torna-se mais abrangente, no momento que for ampliada englobando uma visão de previsão e até, provisão, pois se encontra à montante e não a jusante das opções de desenvolvimento, como no primeiro conceito mencionado, interrelacionando o sistema sócio-econômico e sistema

ecológico. Com este conceito, o **planejamento do processo de desenvolvimento** é inserido em um processo de gestão permanente de recursos, do espaço e da qualidade do meio natural e artificial onde se busca compatibilizar as condições ecológicas ao desenvolvimento, a longo prazo, o que pode conduzir ao desenvolvimento de estratégias tendo por objetivo modular a demanda.

Os objetivos da gestão de recursos devem contemplar políticas de diversas esferas de decisão (política industrial e tecnológica, política de ordenamento espacial, política ligada aos modos de vida etc); as decisões e a gestão dos recursos devem ser apreendidas anterior à intervenção pública e posterior às preferências de consumidores e usuários (independência nacional, emprego, equilíbrio regional, proteção do meio ambiente etc).

Como a preocupação em gerenciar resíduos floresceu, as indústrias têm adotado os princípios da gestão ambiental que consiste, em um conjunto de medidas e procedimentos bem definidos e adequadamente aplicados que visam reduzir e controlar os impactos introduzidos pelos empreendimentos sobre o meio ambiente. Estes princípios devem também assegurar a melhoria contínua das condições de segurança, higiene e saúde ocupacional de todos os seus empregados e um relacionamento sadio com os segmentos da sociedade que interagem com esse empreendimento e a empresa. As relações ambientais entre o ecossistema e as empresas tornaram-se estáveis, no momento em que os requisitos de natureza física, química, biológica, social, econômica e tecnológica são atendidos através da qualidade ambiental.

A preocupação com o meio ambiente não é moda ou nem oportunismo, é uma questão de sobrevivência para as companhias, coloca Döbereiner (1998). Congruindo com a mesma idéia, Valle (1995) coloca, “a política ambiental não deve ser encarada como um ônus, mas sim como uma ferramenta importante para o sucesso da empresa que, além de cumprir a lei, deseja firmar sua boa imagem”.

A autocrítica verdadeira e transparente é fundamental para a empresa que decide implantar uma política ambiental, pois terá que rever suas formas de atuação eliminando tradições sedimentadas ao longo do tempo. A política ambiental deve estabelecer os objetivos ambientais estratégicos da organização. Para que estes objetivos sejam alcançados é fundamental que os funcionários reconheçam na **educação ambiental** um novo fator de progresso, diferente do treinamento profissional, muito embora os dois se complementem.

A educação ambiental constitui uma ferramenta importante na implantação da política ambiental da empresa que se consolidará através de um sistema de gestão ambiental. Sendo assim todos são responsáveis por esta proteção ambiental, da mesma forma que o é pela, sua atuação pessoal segura. Os erros operacionais constituem uma das principais causas da geração de resíduos altamente tóxicos e dos maiores acidentes.

Os dirigentes da empresa têm papel fundamental neste processo de conscientização ambiental podendo provocar alterações profundas em suas prioridades estratégicas e mudanças que vão modificar as atitudes e o comportamento de todos os funcionários. A partir da política ambiental a empresa deve estabelecer seu planejamento ambiental, tomando como base

os princípios já serão estruturados, dando origem ao Sistema de Gestão Ambiental (SGA) da empresa.

A indústria está se tornando mais responsável para implementação de melhores tecnologias e para melhorar os sistemas de gerenciamento, Staniskis e Stasiskiene (2003). Segundo Khanna e Anton (2002), sistema de gestão ambiental (SGA) representa uma mudança organizacional voluntária dentro da empresa motivada pela internalização ambiental e externalização de práticas ambientais que integra ambiente e produção, as quais identificam oportunidades para reduzir a poluição e capacitam a empresa a estabelecer melhorias contínuas nos sistemas de produção e na sua *performance* ambiental.

Um SGA consiste em um conjunto de práticas ambientais (PGAs) que articula metas e objetivos. Implementar estas metas é assumir responsabilidades, prover recursos, treinamento e incentivos aos funcionários, Khanna e Anton (2002). Carrera e Iannuzzi *apud* Corbett e Pan (2002), destacam que muitas companhias não possuem registros ou sequer medem seus custos ambientais, portanto, desconhecendo sua realidade.

A implantação de um sistema de gestão ambiental exige o envolvimento da empresa como um todo. A responsabilidade ambiental deve ser disseminada para todos os setores, seja a área operacional, administração, compras, projetos, serviços gerais etc. Quando a organização enxerga as questões ambientais sob a mesma ótica, soluções criativas começam a surgir, oportunidades são melhores exploradas, por exemplo, o aproveitamento de rejeitos, substituição de insumos, eliminação de perdas nos processos, reciclagem, redução do consumo de energia, redução da geração de resíduos, mudanças tecnológicas etc. A introdução de estratégias de prevenção representa redução de custos.

Através do sistema de gestão ambiental a empresa adquire uma visão estratégica em relação ao meio ambiente deixando de agir em função apenas dos riscos, passando a perceber também, oportunidades. Isso somente é possível se todos compartilharem a mesma visão e estiverem motivados. Esse é o maior diferencial entre uma empresa que possui um SGA estruturado em relação a uma empresa que não possui. O estabelecimento de um sistema de gestão ambiental busca compartilhar qualidade do produto ou do serviço, controle ambiental e segurança no trabalho, este tripé garantirá a sobrevivência da empresa à longo prazo. O estabelecimento de um SGA exige a substituição de velhos paradigmas, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Paradigmas com relação a implantação de um SGA na empresa

Velhos paradigmas	Novos paradigmas
A responsabilidade ambiental corrói a competitividade.	A ecoestratégia gera novas oportunidades de negócios.
Gestão ambiental é coisa para grandes empresas.	A pequena empresa é mais flexível para implantação de programas ambientais.
O movimento ambientalista age completamente fora da realidade.	As ONG's consolidam-se tecnicamente e participam da maioria das comissões ambientais.
A função ambiental da empresa é exclusivamente do setor de produção.	A função ambiental está em diversos setores do planejamento estratégico da empresa.

Fonte: material da disciplina ADM 01004 (Escola de Administração da UFRGS), 2003.

2.2 Estratégias de Gestão

Novas situações do ambiente institucional passaram a dirigir as estratégias ambientais³ das empresas, tais como investidores e acionistas, que estariam interessados em correlações positivas entre *performance* econômica e ambiental; bancos, que estariam associando *performance* ambiental ruim a risco financeiro mais elevado e associações comerciais, educacionais e religiosas, que passaram a institucionalizar determinadas demandas ambientais. Os diferentes *stakeholders*⁴ perceberam que este novo cenário tem contribuído para a melhoria de uma vasta extensão de impactos ambientais (Corbett e Pan, 2002).

A gestão sustentável pressupõe uma abordagem que tenha como referência o princípio dos 3 Rs, apresentado na Agenda 21⁵. O princípio constitui-se de estratégias para diminuir a exploração de recursos naturais e o impacto ambiental das diversas atividades, relacionadas com a vida em sociedade. Redução envolve atividades e medidas para evitar o descarte de resíduos. Reutilização consiste no reaproveitamento antes do descarte ou da reciclagem. Reciclagem é a forma de reaproveitar os resíduos gerados ou parte destes, no mesmo ou em outro processo produtivo.

A hierarquia dos Rs segue o princípio de evitar a geração, posteriormente a reutilização ou reuso e, por último, a reciclagem (Figura 1). Portanto, é preciso inverter a pirâmide, o que significa colocar em prática a desejável política dos “3 Rs” (Reduzir, Reusar e Reciclar) e não continuar produzindo e gerando mais resíduos, deixando que “alguém” assuma a responsabilidade de tratar e dispor adequadamente (Pereira e Tocchetto, 2004b). A geração de resíduos representa perdas no processo, ineficiência produtiva e custos ambientais de gerenciamento. Por esta razão, o estabelecimento de estratégias de prevenção vai ao encontro dos princípios de proteção ambiental e de sustentabilidade.



Figura 1 – Pirâmide do Consumo Sustentável – Prática dos 3Rs

³ Estratégias ambientais ou ecoestratégias consistem em medidas implantadas para reduzir o consumo de matérias primas, água, energia e a geração de resíduos, melhorando a produtividade, a lucratividade, a competitividade e a imagem perante os *stakeholders* com mais economia, satisfação do cliente e qualidade ambiental.

⁴ *Stakeholders* são grupos de consumidores, fornecedores, empresas concorrentes, funcionários, meios de comunicação, judiciário, legisladores, público em geral, autoridades públicas, organizações não governamentais (ONGs) que influenciam no gerenciamento das corporações (Hibbit e Kamp-Roelands, 2002).

⁵ A Agenda 21 é um programa de ações para o qual contribuíram governos e instituições da sociedade civil de 179 países, que constitui a mais ousada e abrangente tentativa já realizada de promover, em escala planetária, um novo padrão de desenvolvimento, conciliando métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica (Ambientebrasil, 2004).

A implantação de estratégias ambientais nas empresas é determinada por diversos fatores. Lau e Ragothaman *apud* Souza (2003) identificaram que os principais fatores, em ordem de importância, são regulamentações ambientais, reputação das organizações, iniciativas da alta administração e demanda dos consumidores. Ainda apontaram que a redução de custos e o aumento de lucros são fatores significativos para a implantação de estratégias ambientais. Outro estudo verificou que as ações ambientais concentram-se na modernização dos sistemas de controle da poluição e são frutos das crescentes exigências regulatórias (Neder *apud* Souza 2003).

No Brasil, o CNI/BNDES/SEBRAE, em 1998, realizou uma pesquisa que buscou avaliar a gestão ambiental na indústria brasileira (Souza, 2003). De acordo com os resultados, as exigências das legislações figuram entre as principais razões para a adoção de práticas ambientais. Outros fatores, também significativos para implantação de estratégias de gestão, são a redução de custos e melhoria da imagem da empresa. Pesquisa realizada em grandes empresas, com atividade galvânica do Rio Grande do Sul, comprovou que a legislação ambiental é o principal fator motivador para a implantação de medidas de gestão ambiental, seguido dos custos ambientais (Tocchetto, 2004).

Meredith *apud* Passos e Câmara (2003) sugeriu uma escala de evolução das atitudes em relação ao meio ambiente. Esta escala começa com a estratégia reativa, passa por um estágio intermediário, denominado estratégia ofensiva, e termina com a estratégia inovativa. Na estratégia reativa, as empresas concentram suas ações no atendimento mínimo e relutante da legislação ambiental e no gerenciamento mínimo de seus riscos. Não há evidências de modificações nos processos e produtos, atendo-se apenas à incorporação de equipamentos de controle de poluição nas saídas dos seus efluentes para o meio ambiente (fim de tubo).

A percepção dessas empresas baseia-se na proposição de que não há oportunidade de mercado para compensar os aumentos de custos, devido ao ingresso da dimensão ambiental. A dimensão ambiental é vista como uma ameaça, não havendo, portanto, integração entre o meio ambiente e as unidades estratégicas de negócio. As decisões quanto às soluções dos problemas ambientais só atingem o nível de estratégia funcional e são tomadas na base da determinação. Este é o mais baixo estágio da classificação das estratégias ambientais, no qual a gestão ambiental das organizações é orientada à conformidade.

Na estratégia ofensiva, segundo estágio da classificação, os princípios básicos adotados pelas empresas são a prevenção da poluição, a redução do uso de recursos ambientais e o cumprimento além das leis. Verificam-se mudanças nos processos, produtos e serviços, seleção de matérias-primas, alterações na embalagem e estabelecimento de padrões industriais, antes que os concorrentes o façam.

Na estratégia inovativa, as empresas se antecipam aos problemas ambientais e, pela sua capacidade de resolução dos problemas, fortalecem a

posição de mercado. A excelência ambiental torna-se condição para o sucesso dessas empresas que buscam a integração entre o meio ambiente e os negócios, a partir do desenvolvimento e comercialização de novos produtos, com a introdução de princípios de ciclo de vida.

O princípio básico adotado é o acoplamento total e sinérgico entre estratégias ambientais e de negócio, de tal forma que elas se tornam quase indiferenciáveis. A integração da variável ambiental ocorre ao nível do gerenciamento ambiental estratégico, considerado função da administração e questão de mercado, em um quadro de alta ameaça e oportunidade. A questão ambiental é incorporada às estratégias empresariais mais gerais e torna-se um elemento importante de construção de vantagens competitivas duradouras.

As estratégias ambientais podem ser direcionadas aos processos e aos produtos. O primeiro foco das estratégias geralmente ocorre direcionado ao processo. Um processo considerado equilibrado ambientalmente deve estar próximo dos seguintes objetivos:

- poluição zero;
- nenhuma produção de resíduo;
- nenhum risco para os trabalhadores;
- baixo consumo de energia;
- eficiente uso de recursos.

Para saber quanto a empresa está próxima ou longe desses objetivos ideais, é necessário que ela faça uma estimativa de seu balanço ambiental, levando em consideração todas as entradas e saídas do processo produtivo.

Uma empresa ambientalmente amigável é definida não só pelas características do processo, mas também pelos produtos que fabrica. Os produtos são obtidos a partir de matérias-primas renováveis ou recicláveis, que não agridem o meio ambiente e são obtidas com baixo consumo de energia. São empresas engajadas na causa ambiental.

As iniciativas ambientais dirigidas para processos visam à minimização dos impactos ambientais dos processos e podem ocorrer de vários modos, seja usando ações de reciclagem ou de baixo impacto ambiental, redesenhando o processo de produção e/ou sistemas de distribuição ou reduzindo os resíduos. Estas iniciativas, portanto, incluem mudanças em processos organizacionais, assim como nos materiais usados na produção.

Permitem, ainda, a redução de custos na organização pelo uso mais eficiente dos recursos, a redução do uso de materiais perigosos, evitando, assim, o risco de acidentes e os decorrentes custos de medidas punitivas, mitigadoras e/ou de limpeza, e a eliminação de passos desnecessários na produção. Brockhoff e Chakrabarti *apud* Souza (2003) afirmam que estratégias direcionadas ao processo buscam geralmente soluções fim de tubo. Segundo Timoney e Lee (2001), as ações ambientais não podem estar separadas das decisões dos processos.

Já as iniciativas ambientais dirigidas ao produto podem ocorrer de dois modos: pela criação de novos bens e serviços ambientalmente saudáveis, ou pela redução do impacto ambiental dos bens e produtos existentes. Estão vinculadas a estratégias de diferenciação de produtos e podem ter efeitos importantes na renda da empresa, por tornar os seus produtos únicos aos olhos do consumidor.

O potencial destas iniciativas voltadas à melhoria da reputação é mais alto do que as dirigidas para os processos, pois aumentam a visibilidade pública da empresa, atingem um número maior de *stakeholders* e permitem a demonstração de responsabilidade social empresarial. São medidas que se caracterizam, geralmente, pela lucratividade. Os investidores, em geral, reagem mais favoravelmente às iniciativas dirigidas para produtos, possivelmente pelo maior efeito sobre a reputação, pois capacitam as empresas a alcançar estratégias de diferenciação ambientalmente sustentáveis.

O cerne da questão ambiental fundamenta-se na sustentabilidade, conforme o conceito encontrado no Relatório de Brundtland, ou seja, “satisfazer as necessidades das gerações presentes sem, contudo, comprometer a sobrevivência das gerações futuras” (Frankenberg *et al*, 2003, p.30). Assim, o ordenamento jurídico através de normas reguladoras é capaz de reunir as forças necessárias para a conscientização da sociedade em geral, na busca da sustentabilidade (d’Ornellas, 1997).

Segundo Daroit (2001), as soluções ambientais são muitas, podendo ser agrupadas em duas categorias: as soluções final-de-tubo e as soluções que resultam em produção mais limpa. A implementação de um sistema de gestão ambiental, baseado em estratégias limpas, depende de fatores como: capital disponível para investimento, capacidade tecnológica e política da empresas. Estes fatores são determinantes na escolha das alternativas a serem adotadas para reduzir os impactos ambientais.

Ao implantar um sistema de gestão ambiental, a empresa adquire uma visão estratégica, em relação ao meio ambiente deixando de agir em função apenas dos riscos, passando a perceber as oportunidades. A responsabilidade ambiental é disseminada por todos os setores da empresa, desde a área operacional, administração, compras, projetos, serviços gerais etc. No momento que todos passam a enxergar as questões ambientais sob a mesma ótica, soluções criativas começam a surgir de toda a empresa, explorando-se oportunidades de aproveitamento de rejeitos, substituição de matérias primas, eliminação de perdas nos processos, reciclagem, redução do consumo de energia, redução da geração de resíduos, mudanças tecnológicas etc.

A busca por alternativas que minimizem os impactos negativos da atividade produtiva tem motivado o setor industrial em investir em soluções que também se refletem em economia e melhoria da competitividade. A adoção de estratégias de prevenção apresenta-se como a alternativa mais adequada, porém importantes padrões, modelos de comportamento, crenças e práticas institucionalizadas devem ser modificados. Muitos paradigmas consolidados na estrutura das empresas devem ser substituídos. As maiores

dificuldades foram percebidas em países em desenvolvimento, conforme mostra a pesquisa desenvolvida por Fadel *et al* (2000):

- A maioria das indústrias é pequena e fragmentada do todo, conduzindo a dificuldades de coleta, separação e disposição adequada;
- Baixa consciência do gerador sobre o risco do resíduo para o meio ambiente e a saúde, associado ao manejo inadequado e a exposição a certos resíduos e a seus constituintes químicos;
- Dificuldade de acesso a informação sobre manejo adequado de resíduos e a melhor tecnologia disponível;
- Desconhecimento das exigências legais sobre resíduos e, conseqüente descumprimento;
- Elevados gastos de produção que inviabiliza o investimento voluntário na prevenção e tecnologias de minimização e falta de incentivos financeiros para investimentos;
- Ausência de um sistema eficaz de informação para suportar ou direcionar a política e a tomada de decisão.

A busca de novas tecnologias em substituição as poluentes tem sido uma forma eficaz de reduzir os problemas ambientais, mas na maioria das vezes isto ocorre em resposta a pressões legais ou a outro risco eminente. É preciso que se faça uma abordagem bem mais ampla e profunda incorporando-se à gestão empresarial ações que possam acompanhar todo o processo industrial – desde a negociação com fornecedores para a aquisição de matéria-prima, até a disposição final ou reciclagem dos produtos consumidos – introduzindo uma mudança organizacional consciente em prol da adequação ambiental da empresa industrial. A preocupação de gerenciar a natureza de forma equilibrada já era evidenciada por Francis Bacon, no final do ano de 1500: “Para comandar a natureza é preciso obedecê-la”.

2.3 Metodologias de Gestão

É melhor prevenir evitando a geração, do que remediar. A técnica de prevenção é de especial interesse para a indústria, pois permite eliminar ou reduzir a geração, reciclar e evitar tratamentos e disposições caríssimas que muitas vezes envolvem riscos. A prevenção exige planejamento criterioso, criatividade, mudança de atitude, investimentos em equipamentos e mão-de-obra, e o mais importante, desejo real de enfrentar e resolver o problema (Tocchetto, 2003).

A gestão de resíduos, objetiva intervir nos processo de geração, transporte, tratamento e disposição final desses materiais, buscando garantir a curto, médio e longo prazo, a preservação da qualidade do meio ambiente, bem como a recuperação da qualidade das áreas por eles degradadas. Para que este seja eficiente, o planejamento é elemento fundamental, pois considera as especificidades e formas adequadas de serviços garantindo a globalibilidade do processo.

Estratégias de reuso, de recuperação e de redução, possibilitam a prevenção do impacto ambiental do processo, reduzindo a geração de resíduos e racionalizando o consumo de recursos naturais. A medida que a prevenção vai sendo priorizada no processo, a reciclagem externa vai diminuindo ou sendo eliminada. Tecnologias de prevenção da poluição têm sido defendidas por oferecerem um potencial seguro para modificar operações de manufatura, em direção ao desenvolvimento sustentável e à melhoria da *performance* ambiental (Lewis *apud* Corbett e Pan, 2002). A geração indiscriminada e o elevado tempo de decomposição de muitos resíduos têm sido responsáveis para o estabelecimento de estratégias de redução tanto em termos quantitativos quanto qualitativos (Quadro 2).

Quadro 2 – Principais Resíduos e o Tempo de Decomposição

Tipos de Resíduos	Tempo de Decomposição
Jornais	2 a 6 meses
Embalagens de Papel	1 a 4 meses
Cascas de Frutas	3 meses
Guardanapos	3 meses
Pontas de Cigarro	2 anos
Fósforo	2 anos
Chicletes	5 anos
Nylon	30 a 40 anos
Latas de Alumínio	100 a 500 anos
Tampas de Garrafa	100 a 500 anos
Pilhas	100 a 500 anos
Pneus	600 anos
Sacos e Copos Plásticos	200 a 450 anos
Garrafas e Frascos de Vidro	Tempo indeterminado

A integração entre Qualidade e Meio Ambiente possibilita às instalações a substituição da antiga visão, fim de tubo, por procedimentos que levam à prevenção dos impactos à saúde e ao meio ambiente, ou seja, a introdução do conceito de ecoeficiência⁶. Essa estratégia visa prevenir a geração de resíduos, em primeiro lugar, e ainda minimizar o uso de matérias-primas e energia. Os setores críticos das instalações são os alvos para a introdução destas modificações, constituindo-se, quase sempre, em soluções suficientes para a maioria das indústrias. Essa maior eficiência resulta, naturalmente, em redução de desperdícios e, conseqüentemente, em menor geração de resíduos, racionalização dos recursos naturais, aumento da produtividade e desenvolvimento econômico e social.

Nesse contexto, considerando uma visão holística do sistema de produção, o desenho do produto tem grande importância, pois leva em conta que um dia este se tornará resíduo. O projeto deve prever a futura desmontagem, facilitando a recuperação ou reciclagem. A adoção de medidas neste sentido, independe de regulamentações e acordos, reflete a

⁶ Ecoeficiência significa aplicar, de forma contínua, estratégias ambientais aos processos e produtos, a fim de reduzir riscos ao meio ambiente e ao ser humano (PNUMA, 1987).

responsabilidade do setor industrial. Para assegurar a Qualidade Ambiental devem-se prever o ciclo de vida do produto, já na fase de concepção, identificando as matérias-primas e o desenvolvimento do respectivo processo produtivo, as soluções para os resíduos gerados através do gerenciamento dos mesmos e da produção, passando assim, a ser tratados de forma integrada, abandonando a antiga forma de gestão “fim de tubo”.

O **ciclo de vida completo (ACV)**, do “berço a cova”, é uma das ferramentas cuja incorporação no processo produtivo leva as empresas a compreender o sistema de produção de uma forma holística (Nagel, 2002). Consiste em compreender as três fases da produção: manufatura, uso e reciclagem (Figura 2). O conceito se implantou durante a década de 70, em consequência do impacto ambiental e social de outras metodologias. A ACV - requer a quantificação de energia e dos resíduos que são gerados na concepção, produção, distribuição e utilização, bem como os impactos ambientais da sua reciclagem ou da sua gestão, até o término da vida.



Figura 2 – Ciclo de Vida de Produtos
Fonte: Bristol, 2003

Os objetivos da análise do ciclo de vida são:

- Prevenção da poluição;
- Conservação dos recursos naturais;
- Sustentabilidade dos ecossistemas;
- Maior rentabilidade econômica.

A introdução do conceito de ciclo de vida no sistema de produção, além possibilitar a prevenção dos impactos de processos e produtos, oferece uma resposta efetiva para atingir a sustentabilidade. Outras metodologias também permitem a introdução de estratégias preventivas, como, por exemplo, *Waste Minimization*, *Best Available Techniques* – BAT, Descarte Zero, Produção Limpa, Produção Mais Limpa e Tecnologias Limpas.

Waste Minimization ou simplesmente, Minimização, consiste na redução do uso de matérias-primas, de energia e insumos em geral, além da geração de resíduos. Esta prática exige planejamento criterioso, criatividade,

mudança de atitude, investimentos em equipamentos e mão-de-obra e o mais importante, desejo real de enfrentar e resolver o problema. Através da minimização é possível reduzir custos de tratamento e disposição dos resíduos, economizar em transporte e armazenamento, reduzir prêmios de seguros e diminuir gastos com segurança e proteção a saúde.

Além destes fatores, as práticas de minimização têm se mostrado economicamente vantajosas, já que oferecem a possibilidade de redução de custos de destinação, associada à alteração qualitativa e quantitativa dos resíduos e obtenção de receita pela comercialização dos produtos obtidos no tratamento e/ou separação dos resíduos. Os resíduos sem gerenciamento acarretam enormes passivos ambientais, exigindo técnicas de remediação para recuperar estas áreas degradadas, acarretando gastos volumosos para resolver um problema de forma pontual.

A adoção de estratégias de minimização determina uma reavaliação dos processos produtivos utilizados na empresa, bem como modificações e substituições que resultam em:

- eliminação do uso de matérias-primas e de insumos que contenham elementos perigosos;
- otimização das reações químicas, tendo como resultado a minimização do uso de matérias-primas e redução, no possível, da geração de resíduos;
- segregação, na origem, dos resíduos perigosos dos não perigosos;
- eliminação de vazamento e perdas no processo;
- promoção e estímulo ao reprocessamento e à reciclagem interna;
- integração do processo produtivo em um ciclo que também inclua as alternativas para destruição dos resíduos e a maximização futura do reaproveitamento.

Não se considera minimização, no entanto, a concentração de resíduos apenas para reduzir seu volume, sem a correspondente redução de sua toxicidade ou alternativas de disposição no solo. Da mesma forma, como não é razoável diluir um resíduo somente para atingir concentrações inferiores aos limites legais.

Dentre as providências internas que podem contribuir para reduzir a quantidade de resíduos gerados está o controle rigoroso da qualidade das matérias-primas utilizadas, a aquisição de materiais não tóxicos, maiores cuidados com o armazenamento e com a movimentação de cargas perigosas. Em especial, deve ser dada atenção aos pontos críticos que geram maior quantidade de resíduos e ao controle dos processos produtivos que apresentam baixa eficiência, gerando resíduos a mais do que estimado.

O estabelecimento de estratégia de minimização segue os seguintes passos:

- Seleção da equipe: a equipe deverá ter conhecimento sobre engenharia de processo e ambiental, saúde ambiental e segurança, certificação de produto e qualidade, compras, parte jurídica, finanças e a capacidade de manter bom relacionamento;
- Revisão de pré-inspeção: reavaliar oportunidade/importância da

minimização de resíduos e aspectos envolvidos;

- Visita a unidade: checagem das informações previamente listadas;
- Identificação e listagem das possíveis medidas para redução de resíduos;
- Análise técnica de alternativas;
- Análise econômica;
- Estabelecimento de um programa de implementação e acompanhamento;
- Relatório conciso com todas as informações relevantes sobre as alternativas selecionadas para implementação e os possíveis benefícios para empresa.

Um programa de minimização de resíduos utiliza basicamente duas estratégias: redução na fonte e reciclagem como mostra a Figura 3 (Rocca *et al* , 1993).

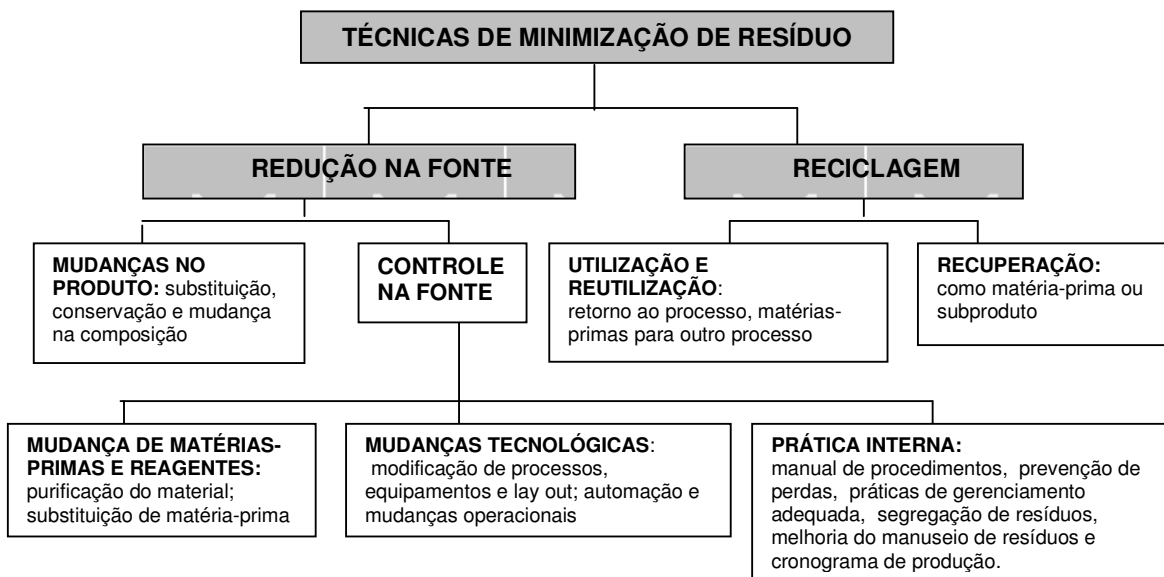


Figura 3 – Programa de Minimização de resíduos

Uma menor geração na fonte pode ser conseguida através de técnicas de reciclagem, reaproveitamento interno ou atitudes organizacionais. A redução da geração de resíduos é uma metodologia que está intimamente relacionada com os conceitos de tecnologias limpas. A implantação destas tecnologias implica, quase sempre, em modificar o processo produtivo e/ou os produtos, por este motivo a simples implantação das tecnologias não assegura a prevenção e/ou a redução de resíduos. Estratégias para redução na fonte consistem em:

- **alterações de matérias primas:** substituição e purificação de matérias primas - geralmente a substituição de produtos é efetivada nos casos em que é possível reduzir custos e melhorar a qualidade do produto e,

conseqüentemente, aumentar os lucros e, nos casos e, que devem ser atendidas exigências ambientais impostas pela legislação.

- **alteração de tecnologias:** mudanças no processo, mudança no arranjo dos equipamentos e tubulações, automatização, mudança nas condições operacionais, redução do consumo de água e energia - convém observar que as alterações tecnológicas caracterizam-se como uma solução a longo prazo, envolvendo estudos e pesquisas prolongadas, bem como investimentos consideráveis. Não se deve, no entanto, deixar de buscar, dentro das possibilidades técnicas, a produção com geração de quantidade zero de resíduos. O desenvolvimento de tecnologias com baixa geração de resíduos se constitui no foco principal da minimização de resíduos.
- **mudanças de procedimentos e práticas operacionais:** prevenção de perdas, treinamento do pessoal e segregação - consiste na modificação de práticas de operações num processo industrial atribuída a intervenção humana inclui alterações dos procedimentos organizacionais e dos aspectos institucionais, a fim de reduzir a geração desnecessária de resíduos. Para efetivação destas mudanças fazem parte o treinamento de pessoal, controle de inventário, segregação das correntes de resíduos, melhoria do manuseio dos materiais, criação de escalas para utilização de equipamentos, prevenção de derramamento e vazamentos e manutenção preventiva.

Há um número de vantagens ambientais diretas e indiretas que a recuperação de produtos pode oferecer, através da possibilidade de extração e práticas de disposição. Um estudo relata que a re-fundição de cobre de circuitos integrados pode reduzir a contribuição do cobre para o aquecimento global em 40%, relativa a emissão de gases, 90% de emissões ácidas e 80% dos fumos (Powel *et al apud* White, 2003).

A redução de resíduos gerados pode ser conseguida a partir de estratégias de **reciclagem**. Reciclar⁷, hoje é uma exigência do mundo moderno e passou a ser um procedimento adotado pelos países ricos e, principalmente pelos países que possuem poucos recursos naturais, que sofrem com a crise energética ou estão em desenvolvimento, Roth (1996). Com a introdução de leis que responsabilizam continuamente as empresas, através do ciclo do produto, muitas tecnologias estão sendo desenvolvidas e/ou otimizadas.



Segundo a EPA reciclagem é ação de coletar, reprocessar, comercializar e utilizar materiais anteriormente considerados sem valor. A reciclagem não apenas reduz os resíduos, também economiza energia, água e matérias-primas reduzindo a poluição do ar e da água. É possivelmente uma solução que previne danos ambientais e promove algum retorno financeiro. Outras vantagens são identificadas como menores investimentos em instalações de tratamento, diminuição dos custos de produção, maior competitividade e aumento da produtividade da empresa (Carvalho, 1993). Entre os materiais que possuem maior potencial para reprocessamento se incluem os papéis e

⁷ Reciclar significa refazer o ciclo; trazer de volta à origem, sob a forma de matérias-primas, materiais que se degradam facilmente ou que podem ser reprocessados, mantendo suas características básicas, na intimidade deste conceito está implícita a importância do ato de planejamento de produto.

papelões, vidros, metais e plásticos. A reciclagem pode ocorrer de diversas formas:

- recuperação de uma matéria-prima ou um produto final a partir de um resíduo;
- aproveitamento de um subproduto de um processo como matéria-prima para outro;
- recuperação de energia oriunda por exemplo, de um resíduo do processo;
- recuperação de embalagens, etc.

A reciclagem dos materiais contidos nos resíduos urbanos se disseminou com grande vigor nos últimos anos, criando uma expectativa, em certa medida infundada de quase todo “lixo é riqueza” e do lixo se conseguiria extrair material suficiente para substituir a produção primária de vários materiais. Mesmo com as contradições e antagonismos, os programas de reciclagem possibilitam reduzir substancialmente o volume dos resíduos urbanos a serem dispostos ou tratados e permitem a recuperação de valores contidos nesses resíduos urbanos que, de outra forma seriam perdidos. A coleta de resíduos para reciclagem pressupõe um mercado de reciclados, caso contrário o destino será a disposição ou a incineração.

O material reciclável pode substituir a matéria-prima virgem, a custos, às vezes, inferiores é o que ocorre com as latas de alumínio. Neste caso, a coleta seletiva é estimulada e até patrocinada pelas próprias empresas produtoras, como parte da formação de sua imagem, evitando-se a associação do produto ao resíduo gerado e que poderá estar sendo disposto de forma inadequada.

A reciclagem das latas de bebidas de alumínio consome apenas 5% da energia que seria gasta para se produzir a mesma quantidade de alumínio primário, daí resultando, portanto, uma economia da ordem de 95% de energia. Da mesma forma, o vidro reciclado representa uma economia energética da ordem de 30%. A coleta seletiva mesmo não resolvendo o problema dos resíduos desperta atenção pelo seu aspecto pedagógico na reflexão da grande quantidade de materiais desperdiçados por procedimentos incorretos ou falta de conscientização.

No caso da reciclagem de plásticos, o polímero reprocessado não serviria para fazer uma embalagem idêntica, geralmente é utilizado para produzir objetos com menores exigências de qualidade como, vasos, cabides, etc. A reciclagem pressupõe a segregação em segundo, lugar a empresa de reciclagem precisa separar os diferentes tipos de plásticos. Em terceiro, lugar é fundamental a ausência de contaminação que pode dificultar o processo ou mesmo impedir o seu reaproveitamento.

O percentual de reciclagem de plásticos pós-consumo no Brasil, hoje está em 17,5%, Plastivida (2003). Comparado à taxa da Europa, que está em torno de 36%, o percentual brasileiro se mostra extremamente positivo, pois aqui a reciclagem acontece de forma espontânea, diferentemente do que ocorre naquele continente, onde a prática é regulada por legislações consolidadas.

A possibilidade de redução estimula a noção que a reciclagem reduz os danos ambientais do descarte de bens, incentivando as pessoas a aumentar suas razões de consumo, comprando dois, três produtos no período no qual eles previamente poderiam ter comprado somente um (White *et al*, 2003). A causa é que o livre mercado está em acordo com estas práticas e o crescimento hegemônico reforça esta disposição de consumo, somada a confiança na recuperação, isto poderá atualmente exacerbar a insustentabilidade dos materiais e a forma de energia utilizada.

A ausência de infraestrutura de recuperação não é a causa fundamental para o doloroso crescimento mundial da disposição de resíduos. Na América, somente 1% dos materiais é considerado, como bem durável por mais que seis meses (Hawkeen *et al apud* White *et al*, 2003). Os mesmos autores colocam que a recuperação de produtos não desencoraja a tendência esmagadora para descartar bens após ciclos de vida extremamente curtos. De fato, esta tendência deve evoluir se o consumidor acreditar que a reciclagem diminui ou elimina os danos ambientais.

A re-manufatura trás benefícios indiretos criando oportunidades para melhorias para os produtos. Por exemplo, a necessidade de simplificar a remoção e reuso, a possibilidade do reaproveitamento de equipamentos, ao fim da vida útil, têm encorajado os projetistas a desenvolver *designs* que facilitem a desmontagem elevando a responsabilidade.

Segundo o IPPC (2004), o termo “**Best Available Techniques**” – **BAT**, (Melhores Técnicas Disponíveis) corresponde ao mais avançado e eficiente estágio de uma atividade e procedimento. Indica a forma sustentada de uma determinada prática, a fim de promover os princípios básicos da prevenção, definindo limites de emissão e promovendo a redução de emissões e de impactos. “Técnicas” incluem a tecnologia usada e o caminho, no qual a instalação é definida, construída, mantida e operada. “Disponível” são técnicas desenvolvidas numa escala em que seja possível a implementação, de acordo com condições técnicas e economicamente viáveis, levando em consideração os custos e vantagens. “Melhor” significa mais eficiente, ou seja, alcançar com êxito um alto nível de proteção do meio ambiente.

Especificamente para o setor industrial é importante considerar os seguintes aspectos:

- o impacto ambiental da unidade, desde o estágio de projeto até a desativação;
- desenvolvimento e uso de tecnologias limpas;
- aplicação de referenciais, buscando a eficiência de uso e a conservação de energia, escolha de matérias-primas menos tóxicas, e a redução de emissões gasosas, descartes para água, consumo de água e geração de resíduos.

Fechamento de ciclo ou descarte zero combina estratégias de otimização do processo e tecnologias para recuperação de perdas, como membranas, troca iônica e/ou técnicas de eletrólise. O fechamento de ciclo é recomendado especialmente para os processos de revestimento metálico tipo,

cádmio cianeto, cobre ácido, níquel eletrolítico e cromo hexavalente (Cleaner Germany, 2004). As tecnologias “descarte zero” são importantes, não somente na eliminação de conseqüências adversas ao meio ambiente, mas na questão prática ao estabelecer uma linha base de investimentos, relativa ao custo aproximado da poluição.

Produção Mais Limpa é reconhecida por possibilitar o uso de estratégias para o aproveitamento eficiente dos recursos naturais e para a minimização de resíduos, poluição e riscos, a partir da fonte de origem (Staniskis e Stasiskiene, 2003). Significa perseguir o objetivo de causar o menor impacto possível sobre o meio ambiente, com produtos e processos, desde a obtenção da matéria-prima até o descarte, incluindo, também, a reciclagem e o reaproveitamento de peças e outros materiais.

Segundo Furtado *et al* (1998), a Produção Mais Limpa introduz medidas de redução e minimização que previnem os efeitos adversos provocados pelos efluentes e resíduos gerados. A empresa que começa a se preocupar com questões ambientais e adota estratégias de Produção Mais Limpa começa a usufruir um processo de “melhoria contínua” que propicia o surgimento de inovação em todos os sentidos (processo, produto e gerencial). Estas inovações facilitam o alcance da competitividade (Lemos e Nascimento, 2002).

Tecnologias Limpas constituem-se em ferramentas fundamentais para a implantação de um sistema de produção, dentro das bases da Produção Limpa. Técnicas eletroquímicas, considerando o setor galvânico, podem ser uma alternativa valiosa para a proteção do meio ambiente, através do tratamento dos efluentes integrado ao processo de produção para a minimização de resíduos e compostos tóxicos, Jüttner *et al* (2000). Segundo os mesmos autores, a vantagem desta tecnologia está no fato do reagente principal ser o elétron que é um “reagente limpo”, cuja estratégia inclui o tratamento de efluentes, resíduos e o desenvolvimento de novos processos e produtos.

Muitos resíduos, como os gerados pelo setor metal-mecânico requerem atenção especial, tratamento e disposição final, devido a presença de metais pesados como Zn, Cd, Hg, Cr e Cu e também altos teores de S (Fadel *et al*, 2000). Neste contexto, diversas opções de gerenciamento podem ser consideradas simultaneamente incluindo reuso, reciclagem, tratamento físico-químico, biológico, *landfill*, incineração, dentre outros (Freemann, 1998).

A reciclagem é sempre discutida em termos de benefícios ao meio ambiente, há também que ser considerado os custos ambientais, como de energia e a atenção que requer o material degradado (White *et al*, 2003). Como a economia de mercado se move em direção a uma “recuperação orientada”, aumenta a importância de medir os potenciais negativos dos impactos para a sua mitigação.

Segundo Graedel e Allembly *apud* Corbett e Pan (2002) as empresas da Europa têm sido, historicamente, mais pró-ativas na prevenção da poluição que as empresas dos EUA, que confiam mais em medidas fim de tubo. Em 1990, os EUA aprovaram a Lei de Prevenção da Poluição: “a redução na origem é aconselhável para o gerenciamento dos resíduos e da poluição, mesmo assim medidas para redução não foram adotadas” (Freeman *apud* Corbett & Pan,

2002). Fadel *et al* (2000) colocam que o cumprimento sistemático da legislação é um fator determinante para o sucesso do manejo de resíduos industriais.

Do ponto de vista do gestor ambiental, o sistema de gestão ambiental, seja por qualquer metodologia adotada, “fornece um delineamento claro da responsabilidade endereçada às questões ambientais definidas pelos regulamentos legais” (Stuart, 2000). Critérios mais rígidos para a disposição de produtos eletrônicos, indiretamente incentivam a recuperação e evitam a presença de metais pesados como chumbo, cádmio e mercúrio em ARIPs ou, mesmo em incineradores, prevenindo a lixiviação dos resíduos dispostos para o solo e para as reservas hídricas ou, mesmo serem dispersos no ar.

2.3.1 Produção Limpa

2.3.1.1 Conceito

Produção mais Limpa significa a aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não-geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo. Esta abordagem induz inovação nas empresas, dando um passo em direção ao desenvolvimento econômico sustentado e competitivo, não apenas para elas, mas para toda a região que abrangem.

Tecnologias ambientais convencionais trabalham principalmente no tratamento de resíduos e emissões gerados em um processo produtivo. São as chamadas técnicas de fim-de-tubo. A Produção mais Limpa pretende integrar os objetivos ambientais aos processos de produção, a fim de reduzir os resíduos e as emissões em termos de quantidade e periculosidade. São utilizadas várias estratégias visando a Produção mais Limpa e a minimização de resíduos.

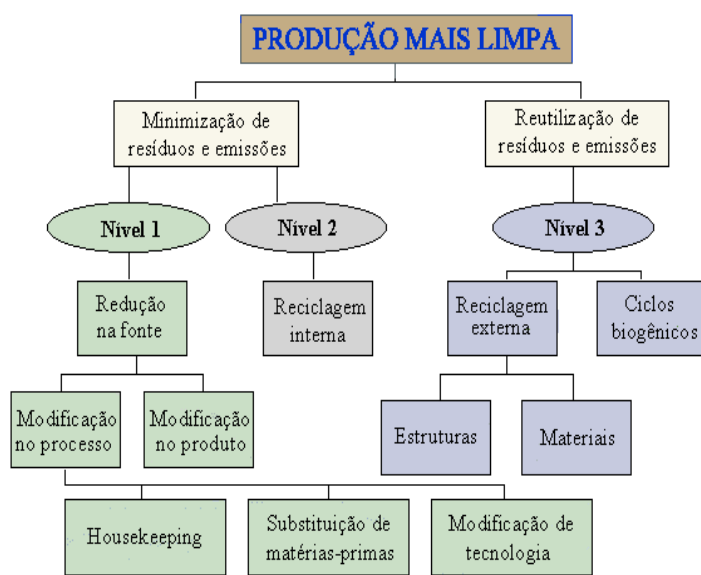


Figura 4 – Fluxograma Programa Produção Limpa

A prioridade da Produção mais Limpa está no topo (à esquerda) do fluxograma: evitar a geração de resíduos e emissões (nível 1). Os resíduos que não podem ser evitados devem, preferencialmente, ser reintegrados ao processo de produção da empresa (nível 2). Na sua impossibilidade, medidas de reciclagem fora da empresa podem ser utilizadas (nível 3).

A prática do uso da Produção mais Limpa leva ao desenvolvimento e implantação de Tecnologias Limpas nos processos produtivos.

Para introduzirmos técnicas de Produção mais Limpa em um processo produtivo, podem ser utilizadas várias estratégias, tendo em vista metas ambientais, econômicas e tecnológicas.

A priorização destas metas é definida em cada empresa, através de seus profissionais e baseada em sua política gerencial. Assim, dependendo do caso, poderemos ter os fatores econômicos como ponto de sensibilização para a avaliação e definição de adaptação de um processo produtivo e a minimização de impactos ambientais passando a ser uma consequência, ou inversamente, os fatores ambientais serão prioritários e os aspectos econômicos tornar-se-ão consequência.

Um programa de PmailL é constituído de 5 fases, cada uma compreendendo vários passos conforme descritos nos próximos itens e sintetizados na figura 5 abaixo:

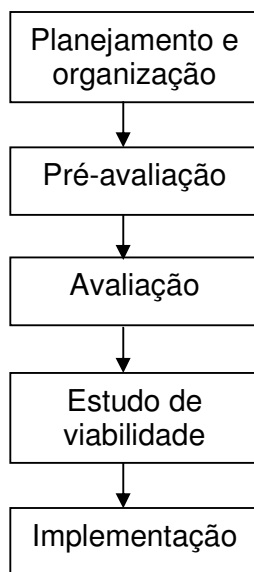


Figura 5 – Fases do Programa Produção Mais Limpa

2.3.1.2 FASES da P + L

Planejamento e organização

Objetivo: Convencer a gerência e os empregados da empresa da necessidade da PmaisL. Passos:

- Compromisso da alta gerência – sensibilização da gerência e funcionários;
- Definição da Equipe de trabalho - Ecotime – organizar a equipe que conduzirá o programa de PmaisL;
- Estabelecimento da abrangência das metas de PmaisL – estabelecer metas amplas da companhia para PmaisL que funcionarão como orientação para o programa de PmaisL
- Barreiras e soluções – identificar as barreiras que possam impedir ou retardar a execução do programa de PmaisL.

Os resultados esperados nesta fase são:

- Obtenção da participação e compromisso da alta gerência
- Gerência e empregados informados dos objetivos do Programa de PmaisL
- Organograma elaborado
- Equipe de trabalho formada
- Recursos financeiros e humanos necessários assegurados
- Fontes de informação identificadas e contatadas
- Metas da PmaisL identificadas
- Barreiras superadas.

Pré-avaliação

Objetivo: Selecionar o foco para a fase de avaliação. Passos:

- Desenvolver os fluxogramas dos processos – global e intermediário descrevendo toda a instalação, mostrando todos os passos por que passam as matérias-primas para formar o produto;
- Avaliar as entradas e saídas – determinar, com base no “senso comum”, através de uma estimativa bruta, se as quantidades de entradas resultam em uma quantidade razoável de saídas;
- Selecionar o foco da Avaliação de PmaisL – determinar os focos para o programa de PmaisL com base nos resultados dos passos anteriores.

Resultados esperados:

- Leiaute elaborado
- Fluxogramas do processo desenvolvidos

- Foco para a fase de Avaliação é estabelecido
- Implementadas opções óbvias de PmaisL (baixo ou nenhum custo)

Ao final desta etapa a empresa poderá verificar em qual das 3 categorias se enquadra:

- conhece os números relativos aos seus processos;
- imagina que conhecem;
- declaradamente não conhece.

Avaliação

Objetivo: Desenvolver um conjunto amplo de opções que podem ser implementadas imediatamente e as que necessitem de análises adicionais mais detalhadas. Passos:

- Originar um balanço material – considerar o uso de matérias-primas, auxiliares, energia que entram no processo e que são liberadas pelo mesmo processo – Um balanço de material permite a identificação e a quantificação das perdas ou emissões anteriormente desconhecidas. O fluxograma de processo forma a base para o cálculo do balanço de material e este traz compreensão sobre a fonte e a causa dos resíduos e emissões, necessária para a geração de opções de PmaisL;
- Conduzir uma avaliação das causas – realçar as fontes e causas dos resíduos e emissões – o balanço de material deve dar-lhe a compreensão de onde, porque e quantos resíduos e emissões são gerados e energia é perdida. Esta compreensão serve como foco para a identificação das opções de PmaisL.;
- Gerar opções de PmaisL – uma vez conhecidas as fontes e causas dos resíduos e emissões, a avaliação de PmaisL entra na fase criativa. Tendo à mão o fluxograma do processo e o balanço do material, você pode escolher a unidade de operação, material, correntes de resíduos e emissões que quer submeter urgentemente a mudanças de PmaisL;
- Separar opções – Selecionar e priorizar as opções de PmaisL para estudo posterior - Após ter sido gerado um número satisfatório de opções, elas devem ser separadas. As que parecem mais promissoras serão submetidas a um estudo de viabilidade.

Resultados esperados:

- São originados e checados os balanços materiais;
- Compreensão detalhada das fontes e causas da geração de resíduos e emissões;
- Um conjunto de opções de PmaisL geradas e listadas em ordem de prioridade.

Estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental

Objetivo: Selecionar opções de PmaisL para implementação. Passos:

- Avaliação preliminar – Determinar o nível de detalhes no qual cada opção deve ser avaliada e fazer uma relação das informações ainda necessárias para esta avaliação;
- Avaliação técnica – Determinar a viabilidade técnica das opções de PmaisL selecionadas – Todos os investimentos maiores requerem uma avaliação técnica mais detalhada;
- Avaliação econômica – Avaliar a eficiência do custo de uma opção de PmaisL – Frequentemente esta avaliação determina se uma opção será ou não implementada;
- Avaliação ambiental – Determinar os impactos positivos e negativos da opção para a minimização do impacto no meio ambiente – Um dos objetivos da PmaisL é a melhoria do desempenho ambiental de sua companhia, sendo fundamental este tipo de avaliação.
- Selecionar opções – Documentar os resultados do estudo de viabilidade e oferecer uma lista de opções de PmaisL que devem ser consideradas para a implementação.

Resultados Esperados:

- Opções viáveis são selecionadas;
- Resultados esperados para cada opção são documentados.

Implementação e Planos de Continuidade

Objetivo: Implementar as opções de PmaisL selecionadas e assegurar atividades que mantenham a PmaisL. Passos:

- Preparar o plano de PmaisL – Desenvolver um plano de implementação para opções de PmaisL, descrevendo a duração do projeto e os recursos humanos e financeiros a serem utilizados.
- Implementar opções de PmaisL - A implementação envolvendo a modificação e a aquisição de equipamentos novos não é essencialmente diferente de qualquer outro projeto de investimento.
- Monitorar e avaliar – os resultados verdadeiros precisam ser comparados aos resultados esperados.
- Sustentar atividades de PmaisL – Uma companhia deve continuamente procurar modos de melhorar seu desempenho ambiental. Finalmente deve ser conduzida outra Avaliação de PmaisL.

Resultados Esperados:

- As opções de PmaisL são implementadas;
- As opções implementadas são monitoradas e avaliadas;
- As atividades que manterão a PmaisL são planejadas.

2.4 Ferramentas de Gestão: Indicadores

As instalações industriais geram uma carga ambiental, em termos de contribuição aos efeitos da poluição, como acidificação, efeito estufa, fumos etc., Nagel (2002). Assim sendo, o estabelecimento de um sistema de gestão ambiental reduz os poluentes em níveis aceitáveis, porém a disponibilidade para investimentos próprios em tecnologias que possam mitigar ou reduzir os impactos ambientais, nas pequenas e médias empresas, é praticamente inexistente, a despeito da existência das alternativas tecnológicas (Fadel *et al*, 2000). Os mesmo autores afirmam que o monitoramento ambiental é parte essencial no desenvolvimento de medidas que assegurem a proteção ambiental.

Segundo Corbett e Pan (2002) há dificuldades, por parte das empresas, em trabalhar com os dados de monitoramento, pois “com o incremento da adoção generalizada da ISO 14000 e do sistema de gestão ambiental, muitas empresas têm detalhado os dados da *performance* ambiental de seus processos, mas freqüentemente não sabem usá-los para auxiliar o controle de seus processos”. Mesmo assim, um número, cada vez maior, de gerentes de setores tornam-se cientes da necessidade de sistematicamente avaliar os riscos ambientais associados a tomada de decisões (Staniskis e Stasiskiene, 2003).

No processo de fabricação do produto, o levantamento dos impactos ambientais é importante para a definição de uma estratégia gerencial com relação aos resíduos (Backer, 1995). Dentro dessa preocupação, o uso e o reuso de resíduos assumem grande importância devido ao aspecto ambiental.

A identificação dos aspectos ambientais significativos é tarefa das empresas e consiste em reconhecer os impactos que causados ou que podem vir a causar, nos quais devem atuar de forma a minimizá-los ou evitá-los e assim, elevar o bem estar da sociedade (Daroit, 2000). Como não existe uma “medida universal para avaliar comparativamente os diferentes aspectos ambientais”, este processo está associado, como já colocado a um grande “grau de subjetividade” (Whitelaw *apud* Zobel e Burman, 2003).

As normas ISO 14000 sugerem uma abordagem simples, na qual as empresas devem identificar, como ponto de partida, os aspectos ambientais relativos as suas atividades, produtos e serviços. Em concordância com esta metodologia (Zobel e Burman, 2003) colocam que as organizações devem considerar os aspectos relativos a emissões aéreas, despejos líquidos, gestão de resíduos, contaminação do solo, etc. e aspectos relacionados diretamente com as suas atividades, produtos e serviços.

A relevância do impacto ambiental para as empresas está relacionada ao impacto financeiro causado nas companhias. Por exemplo, na Europa os custos para disposição de resíduos, o uso de energia e o tratamento de efluentes líquidos tem se elevado imensamente nos últimos anos, o que tem resultado num aumento de custos para as companhias. Economias nestas áreas não só contribuem com a *performance* ambiental da empresa, mas reduzem os custos de disposição de resíduos ou serviços de energia, ao mesmo tempo, Baumast (2001).

Assim, medidas adequadas para a minimização do volume de efluentes gerados não só reduzem custos de instalação e manutenção de uma estação de tratamento de efluentes, mas de disposição de resíduos sólidos e gastos com água, energia e produtos químicos. Uma das maiores preocupações, na parte tecnológica está centrada nos problemas ambientais ligados a toxicidade das substâncias envolvidas nos processos industriais. Esta preocupação confirma a afirmação feita por Furtado (2001), “a prevenção da geração de resíduos perigosos e tóxicos constitui um dos pilares do modelo de gestão ambiental baseado na Produção Limpa. A questão do resíduo é complexa e envolve aspectos relacionados com matérias primas, processo de produção, distribuição, consumo e destinação de embalagens e dos restos dos produtos ao final da vida útil”.

Para alcançar uma redução substancial de tóxicos as empresas devem desenvolver estratégias, programas, metas e procedimentos integrados a todos os componentes do sistema de gestão ambiental (Bunge; Fresner *apud* Verschoor e Reijnders, 2001). As empresas européias desenvolvem mais ações na área de resíduos sólidos, minimização de riscos, processo de produção e reciclagem (Baumast, 2001).

2.4.1 Indicadores de Desempenho Ambiental

Em pesquisa realizada com várias indústrias européias de diversos setores o consumo de água foi identificado como sendo o aspecto ambiental mais importante, por este motivo é uma importante o seu uso como medida de *performance* ambiental (Baumast, 2001). Ainda foi identificado que nas empresas européias há uma ligação fraca entre o treinamento ambiental e a redução de riscos ambientais entre os funcionários, porém tem melhorado no sentido de manter vivo os SGAs implantados.

A preocupação com os canais de comunicação internos e externos e programas de educação ambiental, usados como indicadores de desempenho ambiental demonstra a atenção da empresa com a reputação. Publicamente, a reputação busca satisfazer as demandas de uma variedade de *stakeholders* para o que seja permitido à empresa operar na sociedade (Miles e Covin *apud* Souza, 2002). Segundo Abreu *et al* (2002) a conduta ambiental das empresas pode ser classificada como: empresas que possuem uma conduta ambiental forte são as que utilizam como sistemática avaliação quantitativa da sua medida de *performance* ambiental. Entretanto, as que têm conduta intermediária são as que estão iniciando esse processo. Possuir conduta ambiental fraca significa não praticar essas medições.

A avaliação dos indicadores ambientais fornece informações para retroalimentar o sistema de gestão ambiental na busca da melhoria contínua do sistema. Como avaliação entende-se que esta de compreender a *performance* e a qualidade dos produtos, custos e também os riscos; de processo, de produto e os resultantes das decisões de substituição (Verschoor e Reijnders, 2001). A avaliação equivocada dos impactos e aspectos ambientais significantes pode conduzir a medidas ineficientes que podem comprometer o processo de melhoria contínua do sistema.

Historicamente as empresas e organizações focavam a avaliação do seu desempenho unicamente pelo resultado financeiro com indicadores do tipo: lucro líquido, rentabilidade, faturamento.

Atualmente as novas condições conduzem as empresas a avaliar seu desempenho frente a outras exigências. A medição é feita sobre todas as partes interessadas que são: processos, clientes, fornecedores, acionistas, funcionários e sociedade. Uma consideração importante é a diferença entre **Indicadores de Desempenho Global e Parâmetros de Controle**.

Os parâmetros de controle possibilitam a verificação da conformidade a requisitos ou especificações, ou seja, a empresa analisa uma atividade específica. Como exemplo podemos citar parâmetros de controle de um maquinário.

Já os indicadores de desempenho permitem identificar a tendência de resultados obtidos mais diretamente alinhados à visão, missão, objetivos, diretrizes entre outros e a empresa analisa o somatório dos parâmetros de controle, ou seja, no exemplo dado acima aqui é verificada a eficiência da produção como um todo e não só de uma máquina.

Os indicadores/parâmetros de controle são expressões quantitativas que representam uma informação gerada, a partir da medição e avaliação de uma estrutura de produção, dos processos que a compõem e/ou dos produtos resultantes.

A avaliação refere-se à identificação dos dados para comparação entre os resultados obtidos e padrões ou metas definidas. Em suma os indicadores/parâmetros de controle são instrumentos de apoio à tomada de decisão em relação a uma determinada estrutura, processo ou produto.

As medições são necessárias porque todo o gerenciamento se dá com base em fatos e dados, não se compreende algo que não se pode medir.

2.4.1.1 Requisitos para indicadores

Os indicadores devem ser:

- simples e claros;
- seletivo ou importante;
- representativo ou abrangente;
- baixo custo de obtenção e de uso;
- estável e durável ao longo do tempo;
- rastreável e acessível para verificação;

- confiável e coerente para tomadas de decisão;
- comparável para medição do desempenho;
- vinculado com as estratégias globais;
- relacionado com o negócio.

2.4.1.2 Indicadores ambientais e de processo

A implementação de sistemas de gestão ambiental e de técnicas que visem a produção mais limpa nas empresas está principalmente relacionada à eficiência no processo produtivo, sendo medidos em termos de recursos financeiros economizados em relação ao investimento realizado. Normalmente, esta é a forma de abordagem, pois o que se pretende é reduzir os custos de produção e a degradação ambiental. Esses indicadores estão relacionados ao processo produtivo em uma abordagem mais econômica, mas, para se avaliar a eficiência ambiental ou o desempenho ambiental de uma organização, é necessário que seja considerada a qualidade ambiental resultante da interferência das atividades e produtos de uma organização ao meio ambiente. Deve-se, portanto, **associar os indicadores de eficiência no processo produtivo com indicadores ambientais**.

Os objetivos dos indicadores ambientais são:

- ilustrar melhorias ambientais ao longo do tempo em determinadas avaliações;
- detectar potenciais para melhorias no processo produtivo;]
- definir objetivos e metas de performance ambiental;
- monitorar a performance ambiental;
- identificar oportunidades para produção mais limpa;
- facilitar a realização de *benchmarking* ambiental;
- fornecer dados para publicações referentes a relatórios ambientais;
- promover a motivação do público interno;
- proporcionar uma base para implementação de Sistemas de Gestão Ambiental.

2.4.1.3 Áreas de abordagem na empresa

O desempenho ambiental de uma empresa é resultado da interação das três áreas da organização abaixo citadas, em forma de indicadores consolidados. As áreas são as seguintes:

- Gerenciamento;
- Operacional;
- Ambiental.

A área de **gerenciamento** inclui pessoas, práticas e procedimentos de todos os níveis, bem como suas decisões que tenham alguma relação com os aspectos ambientais da organização. Os indicadores desta área fornecerão informações sobre a capacidade e os esforços da organização em gerenciar questões como treinamento, requerimentos legais, alocação de recursos, documentação e ações corretivas que podem ou tem influência no desempenho ambiental da organização.

A área **operacional** de uma organização inclui a infra-estrutura e equipamentos, sua organização e operação seus materiais, insumos e energia utilizados para obter os produtos, serviços e resíduos. Está intimamente relacionado com as pessoas, práticas e procedimentos da área de gerenciamento.

A área **ambiental** inclui o ar, a água, o solo, a biota, outros recursos naturais e a saúde humana. O desempenho das duas áreas acima citadas tem impactos sobre o meio-ambiente, por isso, informações sobre as condições do meio-ambiente irão ajudar a organização a selecionar indicadores para a área operacional e de gerenciamento. Os indicadores ambientais permitem caracterizar as condições ambientais locais, regionais e globais e permitem que a organização identifique seus aspectos ambientais significativos.

2.4.1.4 Tipos de indicadores ambientais

Podemos classificar os indicadores ambientais em três tipos:

- **Indicadores absolutos e relativos** – são os focos primários de qualquer avaliação ambiental, pois representam o consumo de materiais, energia, água e outros insumos da empresa (consumo de energia em kW/h ou de geração de resíduos em t). Podem ser entendidos com a compreensão dos impactos ambientais. Indicadores relativos demonstram medidas de melhoria da performance ambiental ou geral da empresa.
- **Indicadores corporativos e de processo** – estes indicadores determinam, em nível de chão-de-fábrica da empresa, se as ações planejadas e medidas estão de acordo ou se devem dar lugar a novos planos de ação ou planos de correção. Também determinam em que intervalos de tempo devem ser revistos e/ou monitorados. Indicadores de processo são especialmente importantes para se verificar níveis de consumo de recursos (matérias-primas e demais insumos) e de emissões (resíduos, efluentes e emissões) relacionados às etapas do processo. São importantes para determinar a real fonte de consumo de insumos e as causas da geração de emissões.
- **Indicadores quantitativos e de custos** – são indicadores que utilizam uma linguagem de gerência, ao invés de medidas físicas como Kg, t, unidades, peças, m³, entre outros. Estes itens passam a ser associados a valores em moeda corrente, para verificar a relevância de cada item abordado na matriz de custos globais e nos valores de investimentos ambientais implementados ou a serem implementados na empresa.

2.4.1.4 Unidades de medida dos indicadores

Um indicador pode ser elaborado a partir de uma ou mais variáveis, daí pode assumir diferentes unidades de medida. Quando o indicador refere-se a uma única variável, sua unidade de medida é um número absoluto ou uma relação de quantidade com outra referência (tempo, por exemplo). Nesse caso, pode-se ter indicadores do seguinte tipo:

- número de dias para conclusão de um serviço;
- número de acidentes por mês;
- número de defeitos por apartamento;
- custo por m²;
- outros.

Quando o indicador é comparativo, pode resultar em um número absoluto ou numa porcentagem. Por exemplo:

- número de ocorrências de defeitos;
- número de dias entre o prazo estimado e o prazo de conclusão da obra.

2.4.1.5 Identificação dos principais indicadores

Os **indicadores de desempenho global** de uma empresa demonstram o grau de competitividade da mesma, posicionando-a em relação ao conjunto de seu setor ou aos competidores diretos. Esses indicadores são utilizados para as decisões relativas ao planejamento estratégico das empresas. São exemplos:

- n^o de unidades produzidas/n^o de unidades vendidas num determinado período de tempo;
- lucro líquido/funcionário;
- receita gerada/horas trabalhadas.

Os indicadores de desempenho específico aqui denominados parâmetros de controle fornecem informações sobre processos ou sobre estratégia e práticas gerenciais dos mesmos, de forma individualizada, orientando a tomada de decisões sobre as características dos processos em termos operacionais ou gerenciais.

Exemplos de parâmetros de controle operacionais:

- espessura média de revestimento;
- produtividade da mão-de-obra por serviço;
- relação entre consumo estimado e consumo efetivo de materiais.

Exemplos de parâmetros de controle gerenciais:

- taxa de frequência de acidentes;

- nº de alterações de projeto;
- porcentagem de tempos produtivos, improdutivos e auxiliares;
- índice de rotatividade da mão-de-obra.

III. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

3.1. Conformidade com a Legislação Ambiental

Conformidade com a legislação ambiental significa observar as normas ambientais postas, que objetivam o desenvolvimento econômico e o meio ambiente equilibrado com qualidade de vida a todas as formas de vida do Planeta.

Todas as atividades econômicas deverão observar os requisitos legais inerentes a sua atividade, adotando para tanto medidas que possam evitar os danos ambientais.

O cumprimento da Legislação Ambiental traz algumas vantagens e desvantagens na perspectiva do empreendedor:

- Diminuição de riscos pela prevenção;
- Redução de gastos com multas, indenizações, medidas compensatórias;
- Inserção em mercado privilegiado;
- Melhor colocação do produto no mercado pelo marketing ambiental;
- Exigência do consumidor por produtos mais limpos;
- Custos com a reparação;
- Imagem da empresa.

3.2. Estrutura Ambiental Brasileira

3.2.1. Introdução

A política ambiental oficial no Brasil é executada em nível nacional, desde 1985, na Nova República pelo SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente), CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), como órgão consultivo e normativo e, em nível técnico e executor das políticas federais, pelo IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais). A Constituição de 5/10/1988, bem como as constituições estaduais dedicam capítulos ao tema ambiental e remetem a legislação ordinária que regulamenta essas disposições constitucionais.

Além disto, cada estado possui estruturas aproximadamente equivalentes coordenada por cada secretaria estadual, que se ocupa do tema ambiental e dispõe de seu conselho estadual de meio ambiente e sua agência estadual de controle de poluição, algumas delas constituídas como fundações, outras como empresas públicas.

À nível municipal, variando com o porte de cada cidade, existem também os órgãos que se incubem de dar cumprimento às legislações de nível federal e

estadual e exercem suas funções de controle ambiental, com base nas respectivas leis orgânicas municipais.

3.2.2. Estrutura

Resumidamente a estrutura ambiental brasileira se apresenta conforme segue:

- a) **SISNAMA** – Sistema Nacional do Meio Ambiente.
- b) **CONAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- c) **SISEPRA – RS** – Sistema Estadual de Proteção Ambiental
- d) **CONSEMA – RS** – Conselho Estadual do Meio Ambiente.
- e) **MUNICÍPIO**

3.2.2.1. SISNAMA

Instituído pela **Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981**, regulamentada pelo **Decreto n.º 99.274, de 06 de junho de 1990**, é constituído pelos órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Municípios e pelas Fundações instituídas pelo Poder Público, responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental e tem a seguinte estrutura:

I - Órgão Superior: O Conselho de Governo

II - Órgão Consultivo e Deliberativo: O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA

III - Órgão Central: O Ministério do Meio Ambiente - MMA

IV - Órgão Executor: O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA

V - Órgãos Seccionais: Os órgãos ou entidades da Administração Pública Federal direta ou indireta, as fundações instituídas pelo Poder Público cujas atividades estejam associadas à proteção da qualidade ambiental ou as de disciplinamento do uso dos recursos ambientais, bem como os órgãos e entidades estaduais responsáveis pela execução de programas e projetos e pelo controle e fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental: e

VI - Órgãos Locais: os órgãos ou entidades municipais responsáveis pelo controle e fiscalização das atividades referidas no inciso anterior, nas suas respectivas jurisdições.

A Lei Federal n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, com fundamento no artigo 8º, item XVII, alíneas "c", "h" e "i", da Constituição Federal, estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente decretada pelo Congresso Nacional e sancionada pelo Presidente da República. No seu artigo 10 estipula a necessidade de Licenciamento Ambiental:

Artigo 9 - São Instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (citamos alguns):

III - a avaliação de impactos ambientais;

IV - o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras.

Artigo 10 - A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva ou potencialmente poluidores, bem como os capazes sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento por órgão estadual competente, integrante do SISNAMA, sem prejuízo de outras licenças exigíveis.

O Decreto Federal nº 99.274/90 que regulamenta a Lei Federal 6938/81 decreta:

No Título I – Da Execução da Política Nacional do Meio Ambiente – Capítulo IV do Licenciamento das Atividades:

Art. 17. A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimento de atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem assim os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão estadual competente integrante do Sisnama, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.

§ 1 - Caberá ao CONAMA fixar os critérios básicos, segundo os quais serão exigidos estudos de impacto ambiental para fins de licenciamento, contendo, entre outros, os seguintes itens:

- a) diagnóstico ambiental da área;
- b) descrição da ação proposta e suas alternativas; e
- c) identificação, análise e previsão dos impactos significativos, positivos e negativos.

§ 2 - O estudo de impacto ambiental será realizado por técnicos habilitados e constituirá o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, correndo as despesas à conta do proponente do projeto.

§ 3 - Respeitada a matéria de sigilo industrial, assim expressamente caracterizada a pedido do interessado, o RIMA, devidamente fundamentado, será acessível ao público.

§ 4 - Resguardado o sigilo industrial, os pedidos de licenciamento, em qualquer das suas modalidades, sua renovação e a respectiva concessão da licença serão objeto de publicação resumida, paga pelo interessado, no jornal oficial do Estado e em um periódico de grande circulação, regional ou local, conforme modelo aprovado pelo CONAMA.

Art. 19. O Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá as seguintes licenças:

- I. Licença Prévia (LP), na fase preliminar do planejamento de atividade, contendo requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação, observados os planos municipais, estaduais ou federais de uso do solo;
- II. Licença de Instalação (LI), autorizando o início da implantação, de acordo com as especificações constantes do Projeto Executivo aprovado; e
- III. Licença de Operação (LO), autorizando, após as verificações necessárias, o início da atividade licenciada e o funcionamento de seus equipamentos de controle de poluição, de acordo com o previsto nas Licenças Prévia e de Instalação.

§ 1º. Os prazos para a concessão das licenças serão fixados pelo CONAMA, observada a natureza técnica da atividade.

Artigos que decretam as penalidades:

No Título III – Das Penalidades:

Art. 33. Constitui infração, para os efeitos deste decreto, toda ação ou omissão que importe na inobservância de preceitos nele estabelecidos ou na desobediência às determinações de caráter normativo dos órgãos ou das autoridades administrativas competentes.

Os artigos 34, 35 e 36 estipulam as multas a serem aplicadas a cada caso e o artigo 37 sobre a graduação dos valores das multas.

Art. 42. As multas poderão ter a sua exigibilidade suspensa quando o infrator, por termo de compromisso aprovado pela autoridade ambiental que aplicou a penalidade, se obrigar à adoção de medidas específicas para cessar e corrigir a degradação ambiental.

Parágrafo único. Cumpridas as obrigações assumidas pelo infrator, a multa será reduzida em até noventa por cento.

3.2.2.2. CONAMA

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto nº 99.274/90, é o órgão **consultivo e deliberativo** do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA.

O CONAMA é composto de Plenário, Câmaras Técnicas e Grupos de Trabalho. É presidido pelo Ministro do Meio Ambiente. A Secretaria Executiva do CONAMA é exercida pelo Secretário Executivo do MMA.

O Conselho é um colegiado, representativo dos atores sociais interessados na área ambiental, seja dos 3 níveis de sociedade.

Cada uma das 11 Câmaras Técnicas é composta de 07 Conselheiros, que elegem um Presidente e um Relator. Os Grupos de Trabalho são criados por tempo determinado para discutir tecnicamente as matérias em tramitação no Conselho e propor o texto das Resoluções a serem levadas às Câmaras Técnicas.

O CONAMA reúne-se ordinariamente a cada 3 meses no Distrito Federal, podendo realizar Reuniões Extraordinárias fora do Distrito Federal, quando necessário.

É da competência do CONAMA:

- **estabelecer**, mediante proposta do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA, dos demais órgãos integrantes do SISNAMA e de Conselheiros do CONAMA, **normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras**, a ser concedido pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e Municípios e supervisionado pelo referido Instituto;
- **determinar**, quando julgar necessário, **a realização de estudos das alternativas e das possíveis conseqüências ambientais de projetos públicos ou privados**, requisitando aos órgãos federais, estaduais e municipais, bem como às entidades privadas, informações, notadamente as indispensáveis à apreciação de Estudos Prévios de Impacto Ambiental e respectivos Relatórios, no caso de obras ou atividades de significativa degradação ambiental, em especial nas áreas consideradas patrimônio nacional;
- **decidir**, após o parecer do Comitê de Integração de Políticas Ambientais, em última instância administrativa, em grau de recurso, mediante depósito prévio, **sobre as multas e outras penalidades impostas pelo IBAMA**;

- **determinar**, mediante representação do IBAMA, **a perda ou restrição de benefícios fiscais concedidos pelo Poder Público**, em caráter geral ou condicional, e **a perda ou suspensão de participação em linhas de financiamento** em estabelecimentos oficiais de crédito;
- **estabelecer**, privativamente, **normas e padrões nacionais de controle da poluição causada por veículos automotores, aeronaves e embarcações**, mediante audiência dos Ministérios competentes;
- **estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente**, com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos;
- **estabelecer os critérios técnicos para a declaração de áreas críticas, saturadas ou em vias de saturação**;
- **acompanhar a implementação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza-SNUC** conforme disposto no inciso I do art. 6º da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000;
- **estabelecer sistemática de monitoramento, avaliação e cumprimento das normas ambientais**;
- **incentivar a criação, a estruturação e o fortalecimento institucional dos Conselhos Estaduais e Municipais de Meio Ambiente e gestão de recursos ambientais e dos Comitês de Bacia Hidrográfica**;
- **avaliar regularmente a implementação e a execução da política e normas ambientais do País**, estabelecendo **sistemas de indicadores**;
- **recomendar ao órgão ambiental competente a elaboração do Relatório de Qualidade Ambiental**, previsto no inciso X do art. 9º da Lei nº 6.938, de 1981;
- **estabelecer sistema de divulgação de seus trabalhos**;
- **promover a integração dos órgãos colegiados de meio ambiente**;
- **elaborar, aprovar e acompanhar a implementação da Agenda Nacional do Meio Ambiente**, a ser proposta aos órgãos e às entidades do SISNAMA, sob a forma de recomendação;
- **deliberar, sob a forma de resoluções, proposições, recomendações e moções, visando o cumprimento dos objetivos da Política Nacional de Meio Ambiente**;
- elaborar o seu regimento interno.

O CONAMA legisla por meio de Resoluções, quando a matéria se tratar de deliberação vinculada à competência legal. Através de Moções, Recomendações ou Deliberação quando versar sobre matéria de qualquer natureza relacionada com a temática ambiental.

As Reuniões do CONAMA são públicas e abertas à toda a sociedade.

As principais resoluções CONAMA, aplicáveis diretamente para as indústrias são:

- RESOLUÇÃO Nº 1, de 23 de janeiro de 1986 – Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o **Estudo de Impacto Ambiental**.

Art. 2º. Dependerá de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e da SEMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como (citamos alguns itens aplicáveis a indústrias):

XII - complexo e unidades industriais e agroindustriais (petroquímicos, siderúrgicos, cloroquímicos, destilarias de álcool, hulha, extração e cultivo de recursos hídricos;

XVI - qualquer atividade que utilizar carvão vegetal, derivados ou produtos similares, em quantidade superior a dez toneladas por dia.

Esclarecimentos:

O RIMA/EIA são necessários para atividades potencialmente poluidoras ou que causem impacto significativo no meio ambiente.

RIMA – Não deve ter termos técnicos. O público deve entender. Com apenas cinquenta assinaturas é possível termos uma audiência pública.

EIA – Deve conter termos técnicos.

O EIA/RIMA deve vir sempre antes da LP/LO/LI.

- **RESOLUÇÃO Nº 1-A**, de 23 de janeiro de 1986 – Dispõe sobre **transporte de produtos perigosos** em território nacional.

Art. 1º - Quando considerado conveniente pelos Estados, o transporte de produtos perigosos, em seus territórios, deverá ser efetuado mediante medidas essenciais complementares às estabelecidas pelo Decreto nº 88.821, de 6 de outubro de 1983.

Art. 2º - Os órgãos estaduais de meio ambiente deverão ser comunicados pelo transportador de produtos perigosos, com a antecedência mínima de setenta e duas horas de sua efetivação, a fim de que sejam adotadas as providências cabíveis.

- **RESOLUÇÃO Nº 1**, de 16 de agosto de 1990 – **Poluição Sonora**.

Devem seguir as NBRs da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), conforme artigos II e VI desta resolução:

II - São prejudiciais à saúde e ao sossego público, para os fins do item anterior aos ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela norma NBR 10.152 – Níveis de ruído para conforto acústico, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

VI - Para os efeitos desta Resolução, as medições deverão ser efetuadas de acordo com a NBR 10.151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da ABNT.

- **RESOLUÇÃO Nº 3**, de 28 de junho de 1990 – **Padrões de Qualidade do Ar**.

Art. 1º - São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo Único - Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - prejudicial à segurança. ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Art. 3º - São estabelecidos os Padrões de Qualidade do Ar (Verificar na Resolução).

- **RESOLUÇÃO Nº 9**, de 31 de agosto de 1993 – **Óleos Combustíveis Usados ou Contaminados**.

Art. 2º Todo o óleo lubrificante usado ou contaminado será, obrigatoriamente, recolhido e terá uma destinação adequada, de forma a não afetar negativamente o meio ambiente.

Art. 3º Ficam proibidos:

I - quaisquer descartes de óleo usados em solos, águas superficiais, subterrâneas, no mar territorial e em sistemas de esgoto ou evacuação de águas residuais;

II - qualquer forma de eliminação de óleos usados que provoque contaminação atmosférica superior ao nível estabelecido na legislação sobre proteção do ar atmosférico (PRONAR);

Art. 4º Ficam proibidos a industrialização e comercialização de novos óleos lubrificantes não recicláveis, nacionais ou importados.

Art. 5º Fica proibida a disposição dos resíduos derivados no tratamento do óleo lubrificante usado ou contaminado no meio ambiente sem tratamento prévio.

- RESOLUÇÃO Nº 237, de 19 de dezembro de 1997 – Licenciamento Ambiental de atividades.

Resumindo: Esta resolução apresenta:

- Listagem das atividades licenciáveis (Anexo 1);
- Competências: impacto local (com município);
- Um único nível de competência para o licenciamento;
- Procedimento básico de licenciamento;
- Empresa consultora de EIA/RIMA pode ser ligada ao empreendedor;
- Prazo de 6 meses para deferimento ou indeferimento de licenciamento ordinário (não precisa de EIA/RIMA);
- Prazo de 12 meses para deferir/indeferir licenciamento por EIA/RIMA;
- Prazo de 4 meses para empreendedor;
- Punição ao órgão ambiental: perde licenciamento para esfera superior; ao empreendedor: arquivamento do pedido;
- Prazos de vigência das licenças ambientais:
 - LP: cronograma até 5 anos; LI: cronograma até 6 anos; LO: 4 até 10 anos;
- Empreendedor deve requerer a renovação ou pedido de obtenção da licença, 120 dias antes de findar prazo da licença concedida.

- RESOLUÇÃO Nº 257, de 30 de junho de 1999 - Pilhas e baterias.

Estabelece que pilhas e baterias que contenham em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos, tenham os procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequados.

- RESOLUÇÃO Nº 258, de 26 de agosto de 1999 – Descarte de pneus.

Art.1º As empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução relativamente às quantidades fabricadas e/ou importadas.

Parágrafo único. As empresas que realizam processos de reforma ou de destinação final ambientalmente adequada de pneumáticos ficam dispensadas de atender ao disposto neste artigo, exclusivamente no que se refere a utilização dos quantitativos de pneumáticos coletados no território nacional.

- RESOLUÇÃO Nº 264, de 26 de agosto de 1999 – Licenciamento ambiental para o co-processamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer, para fabricação de cimento.

Art. 1º Esta Resolução aplica-se ao licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos, excetuando-se os resíduos: domiciliares

brutos, os resíduos de serviços de saúde, os radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins.

Art. 2o O co-processamento de resíduos deverá atender aos critérios técnicos fixados nesta Resolução, complementados, sempre que necessário, pelos Órgãos Ambientais competentes, de modo a atender as peculiaridades regionais e locais.

- RESOLUÇÃO Nº 267, de 14 de setembro de 2000 – Proíbe o uso de substâncias que destroem a camada de ozônio.

Art. 1º É proibida, em todo o território nacional, a utilização das substâncias controladas especificadas nos Anexos A e B do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, constantes do Anexo desta Resolução nos sistemas, equipamentos, instalações e produtos novos, nacionais ou importados:

- I - em quaisquer produtos utilizados sob a forma aerossol, exceto para fins medicinais conforme estabelecido no art. 4º desta Resolução;
- II - equipamentos e sistemas de combate a incêndio;
- III - instalações de ar condicionado central;
- IV - instalações frigoríficas com compressores de potência unitárias superior a 100 HP;
- V - ar condicionado automotivo;
- VI - todos os usos como solventes.

- RESOLUÇÃO Nº 275 de 25 de abril de 2001 - Código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva.

Art.1o Estabelecer o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva.

Art. 2o Os programas de coleta seletiva, criados e mantidos no âmbito de órgãos da administração pública federal, estadual e municipal, direta e indireta, e entidades paraestatais, devem seguir o padrão de cores estabelecido em Anexo.

§ 1o Fica recomendada a adoção de referido código de cores para programas de coleta seletiva estabelecidos pela iniciativa privada, cooperativas, escolas, igrejas, organizações não-governamentais e demais entidades interessadas.

§ 2o As entidades constantes no caput deste artigo terão o prazo de até doze meses para se adaptarem aos termos desta Resolução.

ANEXO -Padrão de cores

AZUL: papel/papelão;

VERMELHO: plástico;

VERDE: vidro;

AMARELO: metal;

PRETO: madeira;

LARANJA: resíduos perigosos;

BRANCO: resíduos ambulatoriais e de serviços de saúde;

ROXO: resíduos radioativos;

MARROM: resíduos orgânicos;

CINZA: resíduo geral não reciclável ou misturado, ou contaminado não passível de separação.

- RESOLUÇÃO Nº 301, de 21 de março de 2002 - Altera dispositivos da Resolução Nº 258, de 26 de agosto de 1999, que dispõe sobre Pneumáticos.

- RESOLUÇÃO Nº 306, de 5 de julho de 2002 – Realização de auditorias ambientais.

Art. 1º Estabelecer os requisitos mínimos e o termo de referência para realização de auditorias ambientais, objetivando avaliar os sistemas de gestão e controle ambiental nos portos

organizados e instalações portuárias, plataformas e suas instalações de apoio e refinarias, tendo em vista o cumprimento da legislação vigente e do licenciamento ambiental.

- RESOLUÇÃO Nº 307, de 5 de julho de 2002 – Estabelece diretrizes, critérios e procedimento para gestão dos resíduos da construção civil.

Art. 1º Estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

Art. 2º Para efeito desta Resolução, são adotadas as seguintes definições (citamos apenas duas):

I - Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;

II - Geradores: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta Resolução;

- RESOLUÇÃO Nº 313, de 29 de outubro de 2002 - Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais (Conjunto de informações sobre a geração, características, armazenamento, transporte, tratamento, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final dos resíduos sólidos gerados pelas indústrias do país).

Art. 1º Os resíduos existentes ou gerados pelas atividades industriais serão objeto de controle específico, como parte integrante do processo de licenciamento ambiental.

Art.2º- Para fins desta Resolução entende-se que:

I - resíduo sólido industrial: é todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.

II - Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais: é o conjunto de informações sobre a geração, características, armazenamento, transporte, tratamento, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final dos resíduos sólidos gerados pelas indústrias do país.

Art. 4º - As indústrias das tipologias previstas na Classificação Nacional de Atividades Econômicas do IBGE, abaixo discriminadas, deverão, no prazo máximo de um ano após a publicação desta Resolução, ou de acordo com o estabelecido pelo órgão estadual de meio ambiente, apresentar a este, informações sobre geração, características, armazenamento, transporte e destinação de seus resíduos sólidos, de acordo com os Anexos de I a III:

I - preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos de viagem e calçados (Divisão 19);

II - fabricação de coque, refino de petróleo, elaboração de combustíveis nucleares e produção de álcool (Divisão 23);

III - fabricação de produtos químicos (Divisão 24);

IV - metalurgia básica (Divisão 27);

V - fabricação de produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos (Divisão 28);

VI - fabricação de máquinas e equipamentos (Divisão 29);

VII - fabricação de máquinas para escritório e equipamentos de informática (Divisão 30);

VIII - fabricação e montagem de veículos automotores, reboques e carrocerias (Divisão 34);

IX - fabricação de outros equipamentos de transporte (Divisão 35).

- RESOLUÇÃO Nº 316, de 29 de outubro de 2002 – Critérios para funcionamento de tratamento térmico de resíduos (Incineração).

Art. 1º Disciplinar os processos de tratamento térmico de resíduos e cadáveres, estabelecendo procedimentos operacionais, limites de emissão e critérios de desempenho, controle, tratamento e disposição final de efluentes, de modo a minimizar os impactos ao meio ambiente e à saúde pública, resultantes destas atividades.

§ 1º Excetuam-se da disciplina desta Resolução:

- a) os rejeitos radioativos, os quais deverão seguir a normatização específica da Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN;
- b) o co-processamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer, o qual deverá seguir a Resolução CONAMA específica nº 264, de 26 de agosto de 1999, salvo a disposição sobre dioxinas e furanos, que deverá obedecer esta Resolução.

§ 2º O estudo da dispersão das emissões atmosféricas do sistema de tratamento deverá, necessariamente, alicerçar a decisão quanto à sua localização.

- RESOLUÇÃO Nº 334, de 3 de abril de 2003 - Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental de estabelecimentos destinados ao recebimento de embalagens vazias de agrotóxicos.

Art. 3º A localização, construção, instalação, modificação e operação de posto e central de recebimento de embalagens vazias de agrotóxicos e afins dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, nos termos do Anexo I, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.

- RESOLUÇÃO Nº 348, de 16 de agosto de 2004 – Altera a Resolução CONAMA Nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.

3.2.2.3. SISEPRA - RS

Esta Lei Nº 10.330, de 27 de dezembro de 1994, com fundamento no artigo 252 da Constituição do Estado, estabelece o Sistema Estadual de proteção Ambiental (SISEPRA) que terá como **atribuições o planejamento, implementação, execução e controle da Política ambiental do Estado, o monitoramento e a fiscalização do meio ambiente**, visando preservar o seu equilíbrio e os atributos essenciais à sadia qualidade de vida, bem como promover o desenvolvimento sustentável.

Constituirão o Sistema Estadual de Proteção Ambiental - SISEPRA - os órgãos e entidades do Estado e dos municípios, as fundações instituídas pelo Poder Público responsáveis pela pesquisa em recursos naturais, proteção e melhoria da qualidade ambiental, pelo planejamento, controle e fiscalização das atividades que afetam o meio ambiente e pela elaboração e aplicação das normas a ele pertinentes e as organizações não-governamentais.

O Sistema Estadual de Proteção Ambiental - SISEPRA - atuará com o objetivo imediato de organizar, coordenar e integrar as ações dos diferentes órgãos e entidades da administração pública, direta e indireta, estaduais e municipais, observados os princípios e normas gerais desta Lei e demais legislações pertinentes.

O Sistema Estadual de Proteção Ambiental - SISEPRA - será organizado e funcionará com base nos princípios da descentralização regional, do planejamento integrado, da coordenação intersetorial e da participação representativa da comunidade.

3.2.2.4. CONSEMA

O **Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONSEMA** - órgão superior do Sistema Estadual de Proteção Ambiental - SISEPRA, através da **Resolução CONSEMA nº 001/95** aprova o regimento interno definindo que compete ao CONSEMA:

I - **propor a Política Estadual de Proteção ao Meio Ambiente**, para homologação do Governador, bem como acompanhar sua implementação;

II - **estabelecer**, com observância da legislação, **normas, padrões, parâmetros e critérios de avaliação, controle, manutenção, recuperação e melhoria da qualidade do meio ambiente natural, artificial e do trabalho;**

III - **estabelecer diretrizes para a conservação e preservação dos recursos e ecossistemas naturais do Estado;**

IV - **deliberar sobre recursos** em matéria ambiental, sobre conflitos entre valores ambientais diversos e aqueles resultantes da ação dos órgãos públicos, das instituições privadas e dos indivíduos;

V - **colaborar na fixação das diretrizes para a pesquisa científica** nas áreas de conservação, preservação e recuperação do meio ambiente e dos recursos naturais;

VI - **estabelecer critérios para orientar as atividades educativas**, de documentação, de divulgação e de discussão pública, no campo da conservação, preservação e melhoria do meio ambiente e dos recursos naturais;

VII - **estimular a participação da comunidade no processo de preservação, conservação, recuperação e melhoria da qualidade ambiental;**

VIII - **apreciar e deliberar**, na forma da legislação, **sobre estudos de impacto ambiental e respectivos relatórios**, por requerimento de qualquer um de seus membros;

IX - **controlar e fiscalizar a forma de utilização dos recursos do Fundo Estadual de Meio Ambiente - FEMA;**

X - **estabelecer prioridades para o enquadramento de programas e projetos ambientais cujos recursos financeiros não sejam provenientes do Fundo Estadual de Meio Ambiente - FEMA;**

XI - **propor as prioridades do FEMA** à Secretaria de Estado responsável pelo meio ambiente;

XII - elaborar e aprovar seu regimento interno.

A estrutura do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONSEMA - será:

I - Presidência;

II - Secretaria Executiva;

III - Plenário;

IV - Câmaras Técnicas.

Com vistas a oferecer o suporte técnico adequado às deliberações do CONSEMA, este Conselho poderá instituir Câmaras Técnicas, provisórias ou permanentes.

A seguir citamos algumas das principais Leis Estaduais:

- Lei Estadual N° 7.488, de 14 de janeiro de 1981

Dispõe sobre a proteção do meio ambiente e o controle da poluição e da outras providências.

- Lei Estadual N° 7.877, de 28 de dezembro de 1983

Dispõe sobre o Transporte de Cargas Perigosas no Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências.

- Lei Estadual N° 9.921, de 27 de julho de 1993

Dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos no Estado do Rio Grande do Sul.

- Lei Estadual N° 11.520, de 3 de agosto de 2000

Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e da outras Providências.

- Lei Estadual N° 12.037, de 27 de julho de 2003

Dispõe sobre a política estadual de saneamento e da outras providências.

A seguir citamos o decreto estadual:

- Decreto N° 38.356, de 01 de abril de 1998

Aprova o regulamento da Lei N° 9.921/93 que dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos no Estado do Rio Grande do Sul.

Art. 4° - Os sistemas de gerenciamento dos resíduos sólidos de qualquer natureza terão como instrumentos básicos planos e projetos específicos de coleta, transporte, tratamento, processamento e destinação final, a serem licenciados pela FEPAM, tendo como metas a redução da quantidade de resíduos gerados e o perfeito controle de possíveis efeitos ambientais.

Art. 8° - A coleta, o transporte, o tratamento, o processamento e a destinação final dos resíduos sólidos de estabelecimentos industriais, comerciais e de prestação de serviços, inclusive de saúde, são de responsabilidade da fonte geradora.

A seguir citamos algumas resoluções:

- Resolução Consema N° 01/98 –

Art. 1° Fixar novas condições e exigências para o Sistema de Automonitoramento de Atividades Poluidoras - SISAUTO, da Portaria n° 01/85-SSMA de 29.07.85 que aprovou a Norma Técnica n° 01/85 - SSMA, doravante denominado Sistema de Automonitoramento de

Efluentes Líquidos das Atividades Poluidoras Industriais Localizadas no Estado do Rio Grande do Sul - SISAUTO.

- Resolução Consema Nº 05/98 – Dispõe sobre os critérios para o exercício da competência do Licenciamento Ambiental Municipal, no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul.

Art. 1º - Compete ao órgão ambiental municipal, ouvidos os órgãos competentes da União e do Estado, quando couber, o licenciamento ambiental dos empreendimentos e atividades relacionadas no Anexo Único, parte integrante desta Resolução, onde, também, estão fixados os respectivos portes, que lhes caracterizam como de impacto local.

Parágrafo 1º - os municípios, para o exercício da competência do licenciamento ambiental previsto neste artigo, deverão ter implementados os Fundos Municipais de Meio Ambiente, os Conselhos Municipais de Meio Ambiente, com caráter deliberativo e participação social e, ainda, possuir nos quadros do órgão municipal de meio ambiente, ou a sua disposição, profissionais legalmente habilitados.

Parágrafo 2º - quando a ampliação de empreendimentos e atividades já licenciados pelo órgão municipal de meio ambiente ultrapassarem os portes de impacto local, indicados no Anexo Único, a competência do licenciamento ambiental retorna ao Estado, podendo esta ser delegada ao Município por simples autorização formal do Órgão Estadual de Meio Ambiente.

- Resolução Consema Nº 04/00 – Dispõe sobre os critérios para o exercício da competência do Licenciamento Ambiental Municipal.

- Resolução Consema Nº 38/03 – Dispõe sobre os prazos de validade dos licenciamentos estaduais.

Art. 7º - As Licenças Ambientais terão validade por prazo determinado, entre 1 (um) e 5 (cinco) anos.

Art. 8º - A Fundação Estadual de Proteção Ambiental - FEPAM poderá, nos primeiros 4 (quatro) anos de vigência desta Resolução, estabelecer prazos intermediários de validade da licença ambiental, entre 1 a 4 anos, de forma a adaptar e distribuir a demanda de licenciamento em vigor.

Art. 9º - A Licença Prévia: o prazo de validade de uma Licença Prévia é de 2 (dois) anos, exceto para empreendimentos com localização definida para distritos industriais já licenciados, que terá validade de 5 (cinco) anos.

Artigo 10 - A Licença de Instalação tem o seu prazo de validade fixado entre 1(um) e 5 (cinco) anos com base no cronograma proposto para execução do empreendimento;

Artigo 11 - A Licença de Operação tem o seu prazo de validade fixado em 4 (quatro) anos.

- Resolução Consema Nº 073/04 –

Dispõe sobre a co-disposição de resíduos sólidos industriais em aterros de resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul.

A seguir citamos algumas portarias:

- Portaria Nº 5/89 SSMA –

Aprova a norma técnica SSMA 01/89 – DMA que dispõe sobre critérios e padrões de efluentes líquidos a serem observados por todas as fontes

poluidoras que lancem seus efluentes nos corpos d'água interiores no Estado do Rio Grande do Sul.

- Portaria N^o FEPAM/47-95/98 -

Aprova o Manifesto de transporte de resíduos – MTR e dá outras providências.

Art. 2^o - A empresa Geradora de Resíduos Sólidos Classe I, e os de Classe II que vierem a ser definidos pela FEPAM, deve solicitar autorização para a emissão do talonário – Manifesto de Transporte de Resíduos, através do requerimento, conforme modelo, Anexo, desta Portaria.

3.2.2.5. MUNICÍPIO

SIMA – Sistema Municipal de Meio Ambiente

COMA – Conselho Municipal de Meio Ambiente

O Rio Grande do Sul é o estado do Brasil que primeiro se municipalizou e já existem diversos municípios neste estado com os seus SIMA e COMA definidos.

A Lei n^o 8.267 de 29.12.1998 dispõe sobre o licenciamento ambiental no Município de Porto Alegre, cria a Taxa de Licenciamento Ambiental e dá outras providências. Alterada por: Lei n^o 8.386/99.Regulamentada por: Decreto n^o 12.366/99.

3.3. Outras Leis

3.3.1. Lei dos Crimes Ambientais

- **Lei 9605 de 12 de fevereiro de 1998** – Dispõe sobre as sanções (ato de concordância do Poder Executivo com a Lei elaborada pelo Poder Legislativo) penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

Art. 54^o. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora:

Pena - reclusão, de um a quatro anos, e multa.

§ 2^o Se o crime:

V - ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos:

Pena - reclusão, de um a cinco anos.

- **Decreto n^o 3179, de 21 de setembro de 1999** – Dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências.

Art. 1^o Toda ação ou omissão que viole as regras jurídicas de uso, gozo, promoção, proteção e recuperação do meio ambiente é considerada infração administrativa ambiental e será punida com as sanções do presente diploma legal, sem prejuízo da aplicação de outras penalidades previstas na legislação.

Art. 5º O valor da multa de que trata este Decreto será corrigido, periodicamente, com base nos índices estabelecidos na legislação pertinente, sendo o mínimo de R\$ 50,00 (cinquenta reais), e o máximo de R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais).

Art. 41º. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora:

Multa de R\$ 1.000,00 (mil reais) a R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais), ou multa diária.

§ 1º Incorre nas mesmas multas, quem:

V - lançar resíduos sólidos, líquidos ou gasosos ou detritos, óleos ou substâncias oleosas em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos.

Art. 43º. Produzir, processar, embalar, importar, exportar, comercializar, fornecer, transportar, armazenar, guardar, ter em depósito ou usar produto ou substância tóxica, perigosa ou nociva à saúde humana ou ao meio ambiente, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou em seus regulamentos:

Multa de R\$ 500,00 (quinhentos reais) a R\$ 2.000.000,00 (dois milhões de reais).

§ 1º Incorre nas mesmas penas, quem abandona os produtos ou substâncias referidas no *caput*, ou os utiliza em desacordo com as normas de segurança.

Art. 44º. Construir, reformar, ampliar, instalar ou fazer funcionar, em qualquer parte do território nacional, estabelecimentos, obras ou serviços potencialmente poluidores, sem licença ou autorização dos órgãos ambientais competentes, ou contrariando as normas legais e regulamentos pertinentes:

Multa de R\$ 500,00 (quinhentos reais) a R\$ 10.000.000,00 (dez milhões de reais).

3.4. Norma ABNT 10004 revisada

3.4.1. Introdução

Após um longo processo de revisão, a nova edição das Normas Brasileiras de Classificação de Resíduos está disponível.

Aparentemente a nova edição traz poucas alterações em relação à versão de 1987, mas estas sinalizam mudanças muito significativas que poderão ocorrer nas próximas revisões.

Esta Comissão de Estudo contou com membros de vasta experiência e conhecimento na área de resíduos.

Estrutura da Nova NBR 10004:

Sumário

Prefácio

Introdução

Objetivo

Referências normativas

Definições

Processo de classificação

Métodos de Ensaio

Anexos

- A. Resíduos perigosos de fontes não específicas
- B. Resíduos perigosos de fontes específicas
- C. Substância que conferem periculosidade aos resíduos
- D. Substâncias agudamente tóxicas
- E. Substâncias tóxicas.

3.4.2. Definições

Resíduo perigoso – resíduo com propriedades tais que o tornem capaz de causar dano à saúde humana, ou ao meio ambiente. Para determinar se um resíduo é perigoso é necessário sabermos **quais** atributos específicos o tornam perigoso. São gerados de diversas fontes que vão desde processos industriais de produção a baterias, lâmpadas fluorescentes, incluindo líquidos, sólidos, gases e lodos.

Para cobrir esta gama extensa, desenvolveu-se um sistema de identificação de substâncias específicas que sabidamente são tóxicas (Anexos C, D e E) e criaram-se **critérios** objetivos para incluir outros materiais neste universo.

3.4.3. Processo de Classificação

A classificação é um processo no qual os constituintes perigosos de um resíduo são comparados com listagens de produtos e substâncias cujo impacto à saúde e meio ambiente são conhecidos. A classificação envolve também a avaliação de algumas **características** de periculosidade.

A classificação é facilitada se os resíduos forem segregados e identificados adequadamente desde sua geração, e se o processo que lhe deu origem for conhecido em todas as suas etapas. Se os resíduos tiverem origem conhecida o gerador pode classificar seu resíduo com base no conhecimento de sua composição e propriedades (itens 3 e 4 da Introdução da Norma).

A Amostragem é a garantia de uma classificação confiável. A amostra enviada ao laboratório de análise deve ser representativa do resíduo, qualquer que seja a forma na qual esteja ele armazenado. A NBR 10.007 dá as instruções para a amostragem de resíduos.

Item 4.1 – O Laudo de classificação pode ser baseado **EXCLUSIVAMENTE** na identificação do processo produtivo quando o resíduo for enquadrado nas listagens dos anexos A ou B.

3.4.4. Listas de Resíduos Perigosos – Os anexos

Anexo A - Contém resíduos identificados com código **F**. Inclui resíduos de certos processos industriais comuns conhecidos como resíduos de fontes não específicas por ocorrerem em vários setores da indústria. (Exemplo: solventes, resíduos contendo dioxinas, entre outros).

Anexo B - Contém resíduos identificados com código **K**. Inclui resíduos de

fontes industriais específicas. (São os resíduos gerados nos processos para as quais a planta foi projetada). Indústrias(14) que geram este tipo de resíduos:

Fabricação de pigmentos inorgânicos;
Fabricação de produtos químicos orgânicos;
Fabricação de tintas; entre outros.

Nota do Item 4.2.1 – O gerador de resíduos listados nos Anexos A e B pode demonstrar por meio de laudo de classificação que seu resíduo em particular não apresenta nenhuma das características de periculosidade especificadas nesta Norma.

Anexo C - Substâncias que tem efeito adverso ao ser humano. É pela presença destas substâncias que um resíduo dos anexos A e B é considerado perigoso.

Anexo D - Substâncias listadas neste anexo são agudamente tóxicas (códigos **P**).

Observação: Embalagens destes produtos são automaticamente consideradas como resíduo perigoso.

Anexo E – Substâncias listadas neste Anexo são tóxicas (códigos **P**)

Anexo F – Substâncias que estando presentes no extrato obtido através do contato do resíduo: água em meio ácido conforme NBR 10.005, em concentrações maiores que as especificadas, tornam o resíduo perigoso. (código **D**).

Se o resíduo não estiver listado, o gerador deve determinar se o resíduo possui uma característica perigosa. As características são um suplemento essencial às listagens de resíduos perigosos; são propriedades mensuráveis que indicam que o resíduo possui periculosidade suficiente para ser classificado como perigosos. Por exemplo, alguns resíduos podem não se encaixar nas listagens uma vez que não se originam de fontes ou processos industriais específicos, mas apresentam periculosidade para a saúde humana e o meio ambiente.

Estas características, segundo a NBR 10004 são:

- Inflamabilidade – item 4.2.1.1
- Corrosividade - item 4.2.1.2
- Reatividade - item 4.2.1.3
- Toxicidade - item 4.2.1.4 – Interface com NBR 10005
- Patogenicidade - item 4.2.1.5 (observar exclusão)

Se o resíduo for “listado” nos Anexos **A** ou **B**; se for tóxico ou apresentar características de toxicidade ele será classificado como **Classe I – PERIGOSO**.

A Nota ao final do item 4.2.1 afirma que o gerador pode demonstrar que

seu resíduo não é perigoso, se não contiver o constituinte pelo qual foi considerado perigoso, ou se não apresentar as características de periculosidade.

Caso contrário o Resíduo será **NÃO PERIGOSO**. Esta classe de resíduos foi subdividida em duas sub-classes:

Resíduos Classe II A Não inertes – em contato com água pH neutro alteram padrão de potabilidade da água.

Resíduos Classe II B Inertes – Em contato com água pH neutro não alteram padrão de potabilidade da água.

A diferenciação entre as duas classes se faz pelos constituintes liberados pelo resíduo quando em contato dinâmico com a água. Interface **NBR 10006**.

A importância dos códigos: facilidade de classificação, destinação, economia em análises de laboratório, facilidade de comunicação com órgãos de controle e unidades de destino final de resíduos.

As mudanças na NBR 10004:

- Desvinculação da Classificação – Destinação
- Valorização da Caracterização como Instrumento de Gerenciamento
- Saída da Tabela de Massa Bruta
- Valorização da História do resíduo (corrente de geração) e possibilidade da emissão de laudo sem análises laboratoriais
- Introdução de “resíduos de tecnologia” nas listagens
- Possibilidade de Alteração da Classificação com a comprovação da não periculosidade do resíduo.

3.5. Instrumentos Legais

3.5.1. Auto de Infração

- Penalizarão desde advertência até interdição;
- Exigências a cumprir;
- Prazo para recurso.

3.5.2. Decisão Administrativa

- Julgamento do Auto de Infração;
- Definição pela procedência com exigências a cumprir;
- Possibilidade recurso ao Secretário.

3.5.3. Termo de Compromisso Ambiental

- Termo de ajuste de conduta entre as partes;
- Substitui temporariamente a licença ambiental;
- Possibilidade de execução judicial.

IV. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

A hierarquização para implantar programas de gerenciamento deve obedecer uma seqüência lógica e natural, expressa pelas seguintes providências:

- **Redução na fonte** consiste na prevenção da geração de resíduos, através do uso de matérias primas menos tóxicas e/ou mudanças de processo;
- **Minimização** da geração de resíduos através de modificações no processo produtivo, ou pela adoção de tecnologias limpas, mais modernas que permitem, em alguns casos, eliminar completamente a geração de materiais tóxicos;
- **Reprocessamento** dos resíduos gerados transformando-os novamente em matérias primas ou utilizando para gerar energia;
- **Reutilização** dos resíduos gerados por uma indústria como matéria-prima para outra indústria;
- **Separação** de substâncias tóxicas das não tóxicas, reduzindo o volume total de resíduo que deva ser tratado ou disposto de forma controlada;
- **Processamento** físico, químico ou biológico do resíduo, de forma a torná-lo menos perigoso ou até inerte, possibilitando sua utilização como material reciclável;
- **Incineração**, com o correspondente tratamento dos gases gerados e a disposição adequada das cinzas resultantes;
- **Disposição** dos resíduos em locais apropriados, projetados e monitorados de forma a assegurar que venham, no futuro, a contaminar o meio ambiente.

A prioridade no gerenciamento de resíduos sólidos industriais deve obedecer a seguinte hierarquia, conforme mostra a Figura 4.

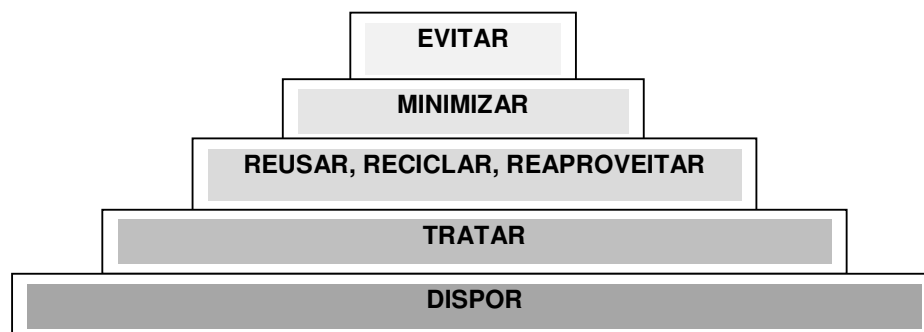


Figura 4 – Hierarquia para o gerenciamento de resíduos sólidos industriais

Pode-se colocar que essas soluções, na seqüência em que estão apresentadas, decrescem em eficácia, pois partem de um conceito de eliminação do problema (o de evitar a geração do resíduo) e terminaram na

disposição controlada deste resíduo gerado (isto é, em um aterro ou uma lagoa).

4.1 Valorização e Recuperação

A valorização permite a extração de materiais que possam ser comercializados ou utilizados para geração de energia, reduz custos e volume de resíduos a serem dispostos, bem como custos de produção. Entre os resíduos que oferecem maior potencial de valorização: os metais, os óleos, solventes, alguns minerais não metálicos de composição estável e os carvões ativados exaustos. A valorização quando bem administrada, permite que um resíduo de uma empresa seja utilizado como matéria-prima para outra. Para agilizar essas trocas foram criadas as bolsas de resíduos, administradas muitas vezes por associações de classe e algumas entidades públicas.

A recuperação tem como objetivo recuperar frações ou algumas substâncias que possam ser aproveitadas no processo produtivo desde que em condições econômicas mais ou menos vantajosas. A meta de toda a indústria e a engenharia ambiental é a recuperação e reuso de todos os seus resíduos incluindo especialmente os perigosos. A recuperação dos resíduos representa um serviço benéfico à sociedade, independente da rentabilidade.

Os metais constituem bons exemplos de recuperação a partir de seus resíduos. Mais de 60% do chumbo consumido atualmente no mundo provém de processos de recuperação, superando, portanto o chumbo primário, produzido a partir de minérios.

Através da recuperação de materiais reaproveitáveis consegue-se redução de volume de resíduos e, conseqüente disposição, redução do custo do tratamento e aumento da vida útil das jazidas dos minerais menos comuns na natureza (fato que, por conseqüência, contribui para reduzir a poluição causada pelas atividades mineradoras). Para recuperar resíduos perigosos deve-se estar atento primeiro à quantidade destes. Nessa abordagem numérica do problema não se inclui, naturalmente, um fator intangível que é o mérito de recuperar e valorizar, sobre a simples solução de dispor.

Outra possibilidade é de recuperar a energia contida em um resíduo com poder calorífico para tal, transformando-o em eletricidade ou vapor, para a utilização pela própria fonte geradora ou para venda a terceiros. É uma prática utilizada comumente em agroindústrias, mas pode ser também utilizada em outros tipos de indústrias que possuam caldeiras. O co-processamento de resíduos em fornos de cimento é uma técnica de recuperação relativamente recente que substitui outros tratamentos como, por exemplo, a incineração.

4.1.1 Pilhas e Baterias

4.1.1.1 Pilhas Secas e Alcalinas

As pilhas secas são do tipo zinco-carbono, geralmente são usadas em lanternas, rádios e relógios. Esse tipo de pilha tem em sua composição Zn, grafite e MnO_2 que pode evoluir para $MnO(OH)$. Além desses elementos são adicionados alguns elementos para evitar a corrosão como: Hg, Pb, Cd, In.

Estas pilhas contêm até 0,01% de mercúrio em peso para revestir o eletrodo de zinco e assim reduzir sua corrosão e aumentar a sua *performance*.

As pilhas alcalinas são compostas de um anodo, um pino de aço envolvido por zinco em uma solução de KOH alcalina (pH~14), um catodo de anéis de MnO₂ compactado envolvido por uma camada de aço niquelado, um separador de papel e um isolante de nylon. Até 1989, a típica pilha alcalina continha mais de 1% de mercúrio. Em 1990, pelo menos 3 grandes fabricantes de pilhas domésticas começaram a fabricar e vender pilhas alcalinas contendo menos de 0,025% de mercúrio.

4.1.1.2 Baterias Recarregáveis

As baterias recarregáveis representam, hoje, cerca de 8% do mercado europeu de pilhas e baterias. Dentre elas pode-se destacar as de níquel-cádmio (Ni-Cd) devido à sua grande representatividade, cerca de 70% das baterias recarregáveis são de Ni-Cd. O volume global de baterias recarregáveis vem crescendo 15% ao ano (Tenório e Espinosa, 2003). São constituídas de um eletrodo (catodo) de Cd, que se transforma em Cd(OH)₂, e outro (anodo) de NiO(OH), que se transforma em Ni(OH)₂. O eletrólito é uma mistura de KOH e Li(OH)₂.

Com a utilização em massa de aparelhos sem fio, notebooks, telefones celulares e outros produtos eletrônicos aumentou a demanda de baterias recarregáveis. Como as baterias de Ni-Cd apresentam problemas ambientais, devido à presença do cádmio outros tipos de baterias recarregáveis portáteis passaram a ser desenvolvidas. Esse tipo de bateria é amplamente utilizado em equipamentos médico de emergência e aviação. As baterias recarregáveis de níquel metal hidreto (NiMH) são aceitáveis em termos ambientais e tecnicamente podem substituir as de Ni-Cd em muitas de suas aplicações, mas o preço de sua produção ainda é elevado. A bateria de íons lítio foi colocada no mercado visando uma opção à substituição da bateria de Ni-Cd (Tenório e Espinosa, 2003).

4.1.1.3 Reciclagem de Pilhas e Baterias

As pilhas e baterias, quando descartadas em lixões ou aterros sanitários, liberam componentes tóxicos que contaminam o solo, os cursos d'água e os lençóis freáticos, afetando a flora e a fauna das regiões circunvizinhas e o homem, pela cadeia alimentar. Devido a seus componentes tóxicos, as pilhas podem também afetar a qualidade do produto obtido na compostagem de lixo orgânico. Além disso, sua queima em incineradores também não consiste em uma boa prática, pois seus resíduos tóxicos permanecem nas cinzas e parte deles pode volatilizar, contaminando a atmosfera.

Os componentes tóxicos encontrados nas pilhas (cádmio, chumbo e mercúrio) afetam o sistema nervoso central, o fígado, os rins e os pulmões, pois são bioacumulativos. O cádmio é cancerígeno, o chumbo pode provocar anemia, debilidade e paralisia parcial, e o mercúrio pode também ocasionar mutações genéticas.

A resolução 257/99 do CONAMA permite o descarte de pilhas em aterros até 0,010% em peso de mercúrio, 0,015 em peso de cádmio e 0,200% em peso de chumbo, para as pilhas comuns. Segundo a resolução, fica proibido lançar estes resíduos “in natura” a céu aberto; em corpos d’água, praias, manguezais, terrenos baldios, poços, cavidades subterrâneas, redes de drenagem de águas pluviais, esgotos, eletricidade ou telefone, além de queimá-los a céu aberto ou em recipientes não adequados (art. 8º). Entretanto, o art. 13º permite que se joguem as pilhas e baterias que atenderem aos limites previstos no art. 6º junto ao lixo doméstico, em aterros sanitários licenciados. A preocupação dos ambientalistas é que a resolução não considera que 80% dos municípios do país não têm aterro sanitário e que 96% dos resíduos produzidos diariamente vão para o meio ambiente sem nenhum cuidado.

O que fazer com as pilhas e baterias?

- Evitar jogar pilhas no lixo doméstico
- Envie algumas pilhas usadas ao fabricante: torne-o consciente de sua preocupação.
- Prefira pilhas e baterias livres de mercúrio, cádmio ou chumbo.
- Procure as pilhas (ou baterias) de longa duração. Reutilize sempre que possível.
- Evite equipamentos movidos à pilha. É melhor prevenir do que remediar

No Brasil há somente uma empresa que recicla pilhas e baterias de celulares, instalada em Suzano/SP, há 9 anos – Suzaquim Indústrias Químicas Ltda. Recicla 250 ton./mês de pilhas e baterias. Os sais e óxidos dos metais são utilizados em indústrias de refratários, em pigmentos, em tintas para pisos e vasos, em cerâmicas, além de indústrias químicas em geral. Os plásticos da carcaça são encaminhados às indústrias manufactureras de plástico. Os processos utilizados são pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos.

Processo Pirometalúrgico – após a moagem, o ferro é separado magneticamente. Os outros metais são separados tendo em conta os diferentes pontos de fusão. Uma queima inicial permite a total recuperação do mercúrio e do zinco nos gases de saída. O resíduo é então aquecido acima de 1000°C com um agente redutor, ocorrendo nesta fase a reciclagem do manganésio e de mais algum zinco. Trata-se, portanto de um processo térmico que consiste em evaporar à temperatura precisa, cada metal para recuperá-lo depois, por condensação.

Processo Hidrometalúrgico – $\frac{3}{4}$ opera geralmente a temperaturas que não excedem os 100°C. As pilhas usadas, sujeitas a moagem prévia, são lixiviadas com ácido hidrocloreto ou sulfúrico, seguindo-se a purificação das soluções através de operações de precipitação ou electrólise para recuperação do zinco

e do dióxido de manganésio, ou do cádmio e do níquel. Muitas vezes o mercúrio é removido previamente por aquecimento.

4.1.2 Lâmpadas fluorescentes

Uma lâmpada fluorescente típica é composta por um tubo selado de vidro preenchido com gás argônio à baixa pressão (2,5 Torr) e vapor de mercúrio, também à baixa pressão parcial. O interior do tubo é revestido com uma poeira fosforosa composta por vários elementos. O Quadro 3 relaciona a concentração desses elementos em mg/kg da poeira fosforosa.

Quadro 3 - Composição da poeira fosforosa de uma lâmpada fluorescente.

Elemento	Concentração	Elemento	Concentração	Elemento	Concentração
Alumínio	3.000	Chumbo	75	Manganês	4.400
Antimônio	2.300	Cobre	70	Mercúrio	4.700
Bário	610	Cromo	9	Níquel	130
Cádmio	1.000	Ferro	1.900	Sódio	1.700
Cálcio	170.000	Magnésio	1.000	Zinco	48

Fonte: Mercury Recovery Services, in TRUESDALE *et al apud* Funasa (2001).

Espirais de tungstênio, revestidos com uma substância emissora de elétrons, formam os eletrodos em cada uma das extremidades do tubo. Quando uma diferença de potencial elétrico é aplicada, os elétrons passam de um eletrodo para o outro, criando um fluxo de corrente denominado de arco voltaico ou descarga elétrica.

4.1.2.1 Reciclagem de lâmpadas

O processo de reciclagem se inicia a partir de informações e esclarecimentos aos geradores de resíduos, com relação ao transporte para que não ocorra a quebra dos bulbos até a garantia final de que o mercúrio seja removido dos componentes recicláveis e que os vapores de mercúrio serão contidos durante o processo de reciclagem. As operações são monitoradas para que a concentração de vapor de mercúrio no ambiente não ultrapasse os limites de exposição ocupacional - 0,05 mg/m³, conforme a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA).

O processo de reciclagem mais usado e em operação em várias partes do mundo envolve basicamente duas fases:

- **Esmagamento**

As lâmpadas usadas são introduzidas em processadores especiais para esmagamento, onde os materiais constituintes são separados por peneiramento, separação eletrostática e ciclonação, em cinco constituintes distintos:

- terminais de alumínio;
- pinos de latão (presença de Pb);

- componentes ferro-metálicos;
- vidro, poeira fosforosa rica em Hg;
- isolamento baquelítico

No início do processo, as lâmpadas são implodidas e/ou quebradas em pequenos fragmentos, por meio de um processador (britador e/ou moinho). Isto permite separar a poeira de fósforo contendo mercúrio dos outros elementos constituintes. As partículas esmagadas restantes são, posteriormente, conduzidas a um ciclone por um sistema de exaustão, onde as partículas maiores, tais como vidro quebrado, terminais de alumínio e pinos de latão são separadas e ejetadas do ciclone e separadas por diferença gravimétrica e por processos eletrostáticos. As poeiras fosforosas e demais particulados são coletados em um filtro, no interior do ciclone. Posteriormente, por um mecanismo de pulso reverso, a poeira é retirada desse filtro e transferida para uma unidade de destilação para recuperação do mercúrio.

O vidro, em pedaços de 15 mm, é limpo, testado e enviado para reciclagem. A concentração média de mercúrio no vidro não deve exceder a 1,3mg/kg. O vidro nessa circunstância pode ser reciclado, por exemplo, para a fabricação de produtos para aplicação não alimentar.

O alumínio e pinos de latão, depois de limpos, podem ser enviados para reciclagem em uma fundição. A concentração média de mercúrio nesses materiais não deve exceder o limite de 20 mg/kg.

A poeira de fósforo é normalmente enviada a uma unidade de destilação, onde o mercúrio é extraído. O mercúrio é, então, recuperado e pode ser reutilizado. A poeira fosforosa resultante pode ser reciclada e reutilizada, por exemplo, na indústria de tintas. O único componente da lâmpada que não é reciclado é o isolamento baquelítico existente nas extremidades da lâmpada. No que se refere à tecnologia para a reciclagem de lâmpadas, a de maior avanço tecnológico é apresentada pela empresa Mercury Recovery Technology - MRT, estabelecida em Karlskrona, Suécia.

- **Destilação de mercúrio**

A recuperação é obtida pelo aquecimento do material até a vaporização do mercúrio (temperaturas acima do ponto de ebulição do mercúrio, 357° C). O material vaporizado, a partir desse processo, é condensado e coletado em recipientes especiais ou decantadores. O mercúrio obtido pode passar por nova destilação para remoção de impurezas. Emissões fugitivas durante esse processo podem ser evitadas usando-se um sistema de operação sob pressão negativa.

A MRT utiliza uma câmara de vácuo para o processo de destilação. Para se conseguir uma pureza de mercúrio da ordem de 99,99%, as partículas orgânicas carregadas pelos gases durante a vaporização do mercúrio são conduzidas a uma câmara de combustão onde são oxidadas.

4.1.3 Pneus Inservíveis

O mesmo pneu velho que incomoda e ameaça a saúde da população nos aterros sanitários e lixões também pode garantir uma viagem tranqüila pelas estradas do País, não rodando junto com os veículos, mas fazendo parte da própria via em que eles transitam (WebResol, 2003).

A recuperação como asfalto ecológico consiste na simples trituração dos pneus e moagem dos resíduos, reduzidos a pó fino. A borracha contida nos resíduos, na forma vulcanizada, não sofre modificação e não é separada dos demais compostos. Da trituração, as partículas não maiores que 5 mm e com umidade de no máximo 2% são misturadas ao asfalto na proporção de 1 a 3% em peso. Diversas rodovias como a Régis Bittencourt (BR-116), que liga o Sul ao Nordeste do Brasil, está utilizando o "asfalto ecológico" e chegando a ótimos resultados. Ainda no trecho da estrada que passa pela cidade gaúcha de Guaíba. O trabalho iniciou nos quilômetros 318 e 320, onde cerca de 700 pneus foram derretidos e unidos à massa asfáltica para reforçar toda a estrutura e, de quebra, acabar com os insistentes buracos que colocam em risco quem passava pelo local. A iniciativa partiu dos pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Outro trabalho foi desenvolvido pela concessionária Ecovia na BR-277, que liga Curitiba (PR) a Paranaguá (PR). Além de estradas mais qualificadas para escoar a produção nacional, a matéria-prima retirada dos pneus pode cumprir um imenso papel social. Na cidade de São Bernardo do Campo, no ABC paulista, oito ruas do bairro Nosso Senhor do Bonfim já contam com a novidade. O único ponto negativo sobre o assunto é o encarecimento dos custos, já que a utilização do asfalto ecológico é 20% mais cara do que o método convencional. Apesar disso, o ganho ambiental, de saúde e até mesmo de imagem torna a idéia tentadora para qualquer empresa interessada em ajudar o País.

A regeneração da borracha dos pneus se constituiu como mais uma alternativa, para reciclagem deste material. Pode ser feita por vários processos - alcalino, ácido, mecânico e vapor superaquecido. Na regeneração os resíduos passam por modificações que os tornam mais plásticos e aptos a receber nova vulcanização, mas não têm as mesmas propriedades da borracha crua sendo, geralmente, misturado a ela para a fabricação de artefatos. A borracha é separada dos outros componentes, o arame e a malha de aço são recuperados como sucata de ferro qualificada, o tecido de nylon é recuperado e utilizado como reforço em embalagens de papelão.

Este processo pode ser resumidamente descrito em suas etapas: (1^a) O pneu é picado em pedaços e (2^a) estes são colocados num tanque com solvente para que a borracha inche e se torne quebradiça; (3^a) em seguida os pedaços são pressionados para que a borracha se desprenda da malha de aço e do tecido de nylon, e (4^a) um sistema de imãs e peneiras separa a borracha, o aço e o nylon; (5^a) a borracha é, então, moída e separada num sistema de peneiras e bombas de alta pressão, (6^a) passando para um reator ou autoclave onde ocorre a desvulcanização da borracha, recuperando cerca de 75% de suas propriedades originais; (7^a) a borracha segue para um tanque de secagem onde o solvente é recuperado, retornando ao processo.

A borracha regenerada de pneus pode ser empregada na fabricação de muitos artefatos, como tapetes, pisos industriais e de quadras esportivas, sinalizadores de trânsito, rodízios para móveis e carrinhos. Também é utilizada na recauchutagem de pneus, no revestimento de tanques de combustível, como aditivo em peças de plásticos aumentando-lhes a elasticidade e em outros usos.

Outro processo é o criogênico onde os resíduos são tratados numa câmara à temperatura sub-zero e, em seguida, passam pelo processo mecânico anterior. Ambos são processos considerados "limpos", sem emissão de óxidos de enxofre ou de óxidos de nitrogênio. Comparativamente, o processo exclusivamente mecânico à temperatura ambiente é de menor investimento inicial, simplicidade e flexibilidade do processo, e volumes de produção elevados. O processo criogênico apresenta as vantagens de um pó de granulometria regular e reduzida, pureza do produto final e a reduzida manutenção.

Há também os processos químicos para recuperação da borracha, entre os quais craqueamento, pirólise, gaseificação, hidrogenação, extração por degradação e extração catalítica. Desde meados da década de 1990, o processo da pirólise tem sido o mais implementado na reciclagem de pneus. Pneus inteiros são reutilizados como muros de arrimo, produtos artesanais ou na drenagem de gases em aterros sanitários. Isso, porque os processos de reciclagem usados no Brasil ainda não permitem aplicações de maior valor agregado.

Na Europa, 40% desses pneus inservíveis são utilizados pelas fábricas de cimento como combustível alternativo no lugar do carvão, uma aplicação ambientalmente correta e que garante economia aos donos das chamadas "cimenteiras". Os pneus são picados e queimados em fornos fechados, onde a borracha sofre combustão total – ao contrário do que acontece na queima a céu aberto – e a fumaça tóxica emitida, preta e de forte odor, é filtrada para não poluir o meio ambiente.

Ainda o pneu pode ser remoldado consiste em remover a borracha original, de talão a talão, de carcaças importadas, previamente testadas e selecionadas, após o que o pneu é totalmente reconstruído e vulcanizado, da mesma maneira que se produz o pneu tradicional, proporcionando perfeito balanceamento, apresentação e segurança no uso (ABIP, 2003).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) buscando nortear o gerenciamento dos resíduos industriais, ainda considerando a ausência de informações precisas sobre a quantidade, os tipos e os destinos dos resíduos sólidos gerados no parque industrial do país e que esses resíduos podem apresentar características prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, aprovou a resolução CONAMA Nº 313, de 29 de outubro de 2002 dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais.

O art 4º desta Resolução estabelece “as indústrias das tipologias previstas na Classificação Nacional de Atividades Econômicas do IBGE, abaixo discriminadas, deverão, no prazo máximo de um ano após a publicação desta Resolução, ou de acordo com o estabelecido pelo órgão estadual de meio ambiente, apresentar a este, informações sobre geração, características,

armazenamento, transporte e destinação de seus resíduos sólidos, de acordo com os Anexos de I a III”.

4.2 Principais Tratamentos

O tratamento é voltado principalmente para o processamento de resíduos perigosos com o objetivo de redução ou eliminação de periculosidade, imobilização de componentes perigosos, fixando-os em materiais insolúveis e, redução de volume para a disposição. Tratar um resíduo significa transformá-lo de tal maneira que se possa reutilizá-lo posteriormente, ou dispô-lo em condições mais seguras e ambientalmente aceitáveis. As principais formas de tratamento são:

- conversão dos constituintes tóxicos em formas menos perigosas ou insolúveis;
- alteração da estrutura química facilitando sua incorporação ao ambiente;
- destruição dos compostos tóxicos;
- separação das frações tóxicas, reduzindo volume e periculosidade.

Os diferentes tratamentos podem ocorrer a partir de reações químicas, físicas, biológicas e/ou térmicos, subdividindo-se em:

- **Tratamento químico:** visa remover elementos em geral dissolvidos ou soluções coloidais através da utilização de substâncias químicas.
- **Tratamento físico:** o tratamento de resíduos industriais perigosos inclui operações de clarificação, filtração, adsorção, absorção e/ou flotação.
- **Tratamento biológico:** no tratamento biológico culturas adaptadas de microrganismos são colocadas em contato com a matéria orgânica dissolvida e em determinadas condições de temperatura, pH e oxigênio, a matéria orgânica é decomposta pelas bactérias resultando gás carbônico e água, Nemerow (1991).
- **Tratamentos físico-químicos:** são os processos térmicos incluem a incineração e a pirólise. Trata-se na realidade de processos que, através de temperaturas elevadas, transformam as características físicas e químicas do resíduo.

Os tratamentos de resíduos podem ser realizados, alternativamente, em três locais distintos:

- junto à própria fonte geradora;
- em outra instalação que tenha interesse em utilizar o material recuperado;
- em instalações especializadas no tratamento de resíduos.

Para tirar partido dos efeitos sinérgicos que se podem alcançar tratando resíduos de diversas categorias em um mesmo local, foi desenvolvido o conceito - **Centrais de Tratamento de Resíduos** – CRT. A **simbiose química** entre resíduos ácidos e básicos, resíduos oxidantes e redutores etc., facilitará o tratamento conjunto desses resíduos e poderá resultar em menores gastos com reagentes, energia, água etc. Através dessas economias torna-se possível

oferecer preços mais baixos para os serviços de tratamento prestados pelo CRT, preços que podem ser ainda reduzidos pelas economias de escala alcançadas.

Estas unidades reúnem em um mesmo local, instalações polivalentes que podem realizar os diversos tipos de tratamento de forma integrada. Um sistema integrado de gerenciamento é composto, via de regra, pelos seguintes elementos: redução na origem, transformação ou tratamento dos resíduos e disposição final (Reichert,1998). Os centros de prestação de serviços ambientais incorporam, além das unidades de tratamento propriamente ditas, laboratórios para caracterização dos resíduos recebidos, áreas para armazenamento, incineradores e aterros controlados para os resíduos finais do tratamento.

Uma crítica feita ao tratamento centralizado de resíduos perigosos se baseia na idéia de que a concentração de maiores quantidades aumenta o risco e pode gerar emissões fugitivas. Essa crítica é infundada e encobre um sofisma. A dispersão desses resíduos ao serem tratados em diversos locais e instalações menores, aumenta exponencialmente os riscos de acidente, além de elevar os custos unitários de processamento, fato que pode ainda estimular o gerador a optar pelo armazenamento de resíduos por prazos indefinidos, sem tratá-los.

4.2.1 Tratamentos Térmicos

Os objetivos deste tipo de tratamento são: destruir os componentes orgânicos, reduzir o volume e reduzir a geração de produtos sólidos e efluentes tóxicos. Podemos classificar os processos térmicos em três grupos: incineração, isto é a combustão em presença de oxigênio; a gaseificação que é uma combustão parcial com deficiência de oxigênio e a pirólise que é a combustão em ausência de oxigênio.

A destruição de compostos orgânicos pelo calor pode ser conseguida através de processos térmicos. Ao contrário, das tecnologias biológicas, químicas e físicas, as técnicas de destruição pelo calor são menos dependentes das especificidades dos resíduos a tratar. No tratamento térmico basta garantir que determinadas temperaturas serão atingidas durante um tempo mínimo para poder considerar que praticamente todas as moléculas orgânicas foram destruídas.

Em relação aos metais, a situação é mais complexa, pois todos os metais presentes no resíduo estarão igualmente nas cinzas e nos efluentes líquidos, sendo que alguns podem volatilizar, especialmente os metais pesados.

A disposição em aterros de matéria orgânica com poder calorífico representa, em termos globais, desperdício de fonte energética com dois principais agravantes: gasto com o tratamento do resíduo e perda das potencialidades oferecidas em substituir recursos não renováveis como os combustíveis fósseis. Como vimos anteriormente o pneu é altamente combustível e possui poder calorífico de cerca de 7.000 kcal/kg, que é superior ao do carvão, portanto se constitui em um dos resíduos com características adequadas para este tipo de tratamento. Cada pneu contém a energia de 9,4

litros de petróleo. Além disso, o seu uso em fornos industriais contribui para a diminuição do consumo de combustíveis não-renováveis, como carvão e óleo. Os principais usuários de pneus em caldeiras são as indústrias de celulose e papel e as fábricas de cal e cimento.

Diversas fábricas de cimento na Europa e nos Estados Unidos estão processando pneus em seus fornos. São 78 fábricas no mundo todo, que se concentram no Japão (23 fábricas), na Alemanha (20) e nos EUA (14). No Brasil, o coprocessamento de pneus em fornos de cimentos começou em 1998, na Ciminias, em Pedro Leopoldo, Minas Gerais. A Ciminias é uma das unidades industriais da Holdercim Brasil, que pertence ao Grupo Holdebank, de origem suíça, maior produtor mundial de cimento. A Resolução CONAMA 258/99 determina que os fabricantes são os responsáveis por dar destino aos pneus inservíveis e, atualmente está sendo atendida, principalmente, através da queima de carcaças em cimenteiras.

A contribuição calórica real do pneu é de 7.814 kcal/kg nos pneus de passeio e 6.275 kcal/kg nos pneus de transporte. A alimentação de pneus nos fornos pode variar de 3 a 15% do combustível utilizado, sendo que a Ciminias já chegou a processar cerca de mil toneladas de pneu por mês. Mas, desde junho de 1999, a empresa passou a cobrar, das entidades que forneciam os pneus, pelo processamento destes resíduos, cerca de R\$ 100 a tonelada.

O engenheiro civil Eduardo Antônio Goulart (UNICAMP) estabeleceu uma nova rota de reaproveitamento para os pneus inservíveis. O processo consiste na queima do pneu e separação de seus produtos finais, que são: óleo combustível, gases e cinza. O equipamento desenvolvido por Goulart recebe os pneus cortados que sofrem uma decomposição térmica a altas temperaturas, resultando três produtos finais. O primeiro é uma cinza fina e preta, chamada negro de fumo, composta basicamente por carbono, que pode ser usada no processo de fabricação de novos pneus e de PVC. O segundo produto principal é o óleo que pode ser usado como combustível em caldeiras e fornos industriais e tem o mesmo poder calorífico que o óleo derivado do petróleo.

Por último, são produzidos gases de poder calorífico satisfatório podendo ser utilizados como fonte de energia. As emissões resultantes da queima dos gases na atmosfera não são prejudiciais ao meio ambiente, já que os gases tóxicos, como enxofre, nitrogênio e metano são incorporados em outros produtos. Dependendo do produto desejado, o processo pode seguir três linhas distintas: a pirólise, queima sem oxigênio privilegiando a formação da fração líquida, ou seja, o óleo. A gaseificação que usa menos oxigênio para que a queima, privilegiando a formação de produto gasoso. Ou, a incineração, onde há excesso de oxigênio para se obter maior rendimento de produto sólido.

4.2.1.1 Gaseificação

É uma técnica eficiente para a redução significativa do volume de alguns tipos de resíduos. A aplicação ao tratamento de resíduos veio retomar uma tecnologia desenvolvida no século XIX para a produção de combustíveis para aplicação industrial. Os processos de gaseificação envolvem reações entre o

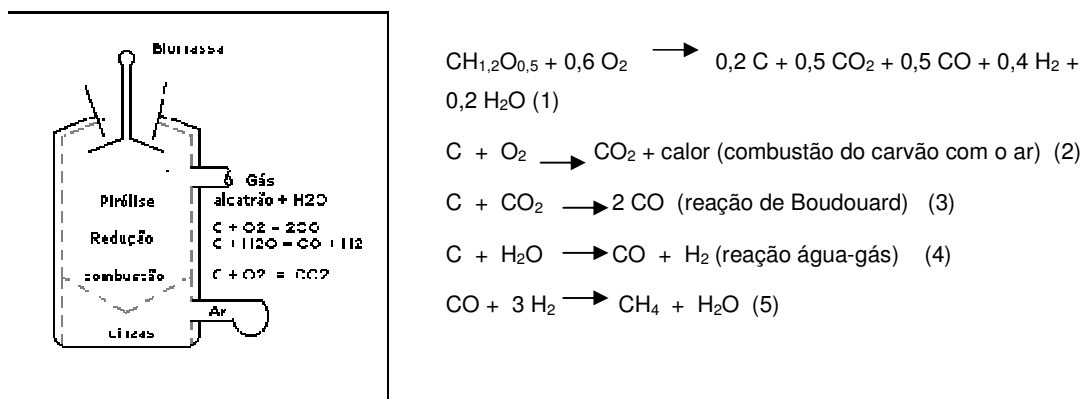
carbono e o oxigênio com formação de CO₂, CO, CH₄ e H₂, o que origina uma mistura gasosa de baixo poder calorífico e um efluente líquido contendo matéria orgânica e um resíduo sólido. Existem vários tipos de reatores de gaseificação: leito fixo vertical, leito fixo horizontal, leito fluidizado, leito múltiplo e leito rotativo. O nível de emissão de VOCs e particulados é baixo podendo ser controlado por ciclones.

Durante a combustão parcial do O₂ os compostos orgânicos absorvem energia (gaseificação direta), o processo em muitas vezes confunde-se com a pirólise. Em substituição ao oxigênio poder ser adicionado vapor d'água que se combina com os produtos orgânicos gerando um gás combustível. Quando a gaseificação ocorre com oxigênio puro, a temperatura atingida pode ser na ordem de 2000° C causando a fusão das cinzas que são retiradas na forma de escoria líquida.

Os reatores de gaseificação com sistema de desulfurização são adequados para o uso de carvão com elevado teor de enxofre, sendo alguns equipamentos usados para produção de energia elétrica a partir de biomassa.

No gaseificador fixo, tipo contracorrente, conforme mostra a Figura 5, que utiliza biomassa, o resíduo entra na parte superior, enquanto o ar entra por baixo. O gás combustível sai por cima e as cinzas saem por baixo, caracterizando o fluxo contracorrente.

Ao entrar no gaseificador o ar reage com o carvão vegetal formado logo acima, e produz gás carbônico e vapor d'água em altas temperaturas, reação (1). Esses produtos são empurrados para cima, reagindo endotermicamente com o carvão para formar CO e H₂, conforme as reações (2), (3) e (4). Esses gases ainda quentes fornecem o calor necessário para a pirólise e a secagem da biomassa que está entrando.



4.2.1.2 Pirólise

Decomposição química da matéria orgânica induzida através do calor, temperatura em torno de 900° C na ausência de oxigênio, o balanço energético é positivo, ou seja, produz mais energia do que consome. Nemerow (1991)

considera-o como “o mais promissor dos métodos de tratamento térmico”. Com a crise de energia, a partir de 1973, passou a ser muito estudado, pois permite a recuperação de energia, Lima (1991).

A **Pirólise** é um processo que tem como principal aplicação o tratamento do lixo, sendo energeticamente auto-sustentável, o que desperta uma grande atenção e a faz tão fascinante do ponto de vista científico e prático. Os resíduos que alimentam o reator pirolítico podem ser provenientes do lixo doméstico, do processamento de plásticos e industriais.

O processo consiste da trituração dos resíduos previamente selecionados, após esta etapa são destinados ao reator pirolítico, onde através de uma reação endotérmica ocorrerão as separações dos subprodutos em cada etapa do processo.

O reator pirolítico possui três zonas específicas, conforme mostra a Figura 6.

- **zona de secagem:** onde os resíduos que irão alimentar o reator passam por duas etapas a pré-secagem e a secagem propriamente dita, nesta zona as temperaturas estão na ordem dos 100º a 150º C (esta etapa é de suma importância, pois a umidade pode interagir negativamente no processo);
- **zona de pirólise:** ocorre as reações propriamente ditas, volatilização, oxidação e a fusão, as temperaturas nesta fase variam de 150º a 1600º C e são obtidos os produtos (alcoóis, óleo combustível, alcatrão, etc);
- **zona de resfriamento:** nesta fase os resíduos gerados pelo processo são coletados no final do processo (char, cinzas e escória).

Ao reduzir a temperatura o composto gasoso condensa originando um resíduo oleoso semelhante ao alcatrão, (char). Este processo é aplicado para uma vasta quantidade de resíduos orgânicos, porém é pouco usado tratar resíduos inorgânicos e metais. Esta tecnologia tem se mostrado promissora para remediação de solos contaminados e lodos de origem variada, também denominado destilação destrutiva.

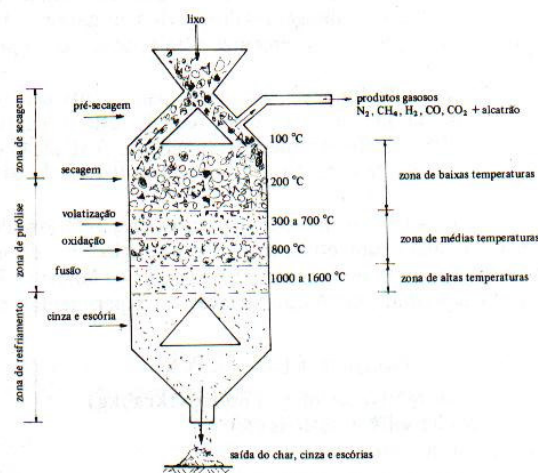


Figura 6 – Esquema do reator pirolítico

Fonte: Geocities (2002).

É considerada tecnologia adequada inclusive para tratar PCBs, dioxinas e hidrocarbonetos aromáticos. O condensado orgânico pode ser reutilizado, dependendo da constituição química.

Os produtos originados no processo de pirólise:

- Gases: H₂, CH₄, CO, CO₂ e outros gases;
- Líquidos: tipo alcatrão de hulha, HAC, CH₃OH e hidrocarbonetos oxigenados;
- Sólidos: alcatrão constituído essencialmente por C e outros elementos residuais.

Os fatores limitantes da tecnologia são temperatura, tempo de residência, razão de transferência de calor. A pirólise de compostos orgânicos halogenados gera haletos e de compostos sulfurados, gás sulfídrico, altamente corrosivo.

Os efluentes gerados no tratamento por pirólise incluem resíduos sólidos, líquidos e gasosos necessitando de sistemas de controle de poluição aérea, APC, a fim de que a legislação seja atendida. Muitas vezes são necessários antes do descarte outros tratamentos como neutralização, precipitação química, clarificação, filtração ou adsorção.

A pirólise é especialmente promissora para o tratamento de plásticos, pois o gás obtido pode ser reprocessado em indústria petroquímica e também para reduzir os volumes de resíduos destinados a aterros, além disso permite a geração de energia elétrica a partir dos gases gerados. Este potencial tem levado algumas prefeituras como Joinville (SC) e mais recentemente, a Prefeitura de Porto Alegre lançou na Bolsa de Mercadorias, estudo sobre a utilização do lixo na geração de energia elétrica - em conjunto com a Eletrobrás, a Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (GTEE) e o Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) (Reis, 2004). O Projeto Ecoparque consiste num parque industrial ecológico que vai tratar os resíduos sólidos urbanos, gerar energia limpa, produzir um composto orgânico para uso agrícola, além de gerar empregos e renda. O projeto também prevê a possibilidade de gerar energia elétrica para locais como cidades da serra gaúcha e bairros como de Porto Alegre - com população equivalente a 21 mil habitantes.

O processo de pirólise para a reciclagem de pneus está tecnicamente consolidado em diversos países. Ainda pode-se atribuir ao processo, um benefício social à medida que recupera para o reuso materiais que, de outra forma, estariam sendo extraídos da natureza, em fontes não renováveis e também pelo potencial de geração de energia elétrica. Estudos mostram que o processo é economicamente viável, dados básicos dos USA, adaptados para as condições de custos e tributos brasileiros, mostram que as receitas de vendas proporcionadas pelos materiais recuperados numa planta de pirólise de 100 t/dia (excluindo o gás não condensável e incluindo um pagamento fixo de US\$0.30/tonelada de pneus a reciclar) atingiria US\$8 milhões/ano, com retorno anual de 16%, ou um pay-back de cinco anos, sobre um investimento de US\$12 milhões (sem a produção de energia elétrica/vapor) (Andrietta, 2002).

4.2.1.3 Incineração

A **incineração** é um método de tratamento que se utiliza da decomposição térmica a uma temperatura superior a 1000° C na presença de oxigênio para volatilizar, promover a combustão e destruição de compostos orgânicos alterando sua natureza física, química e biológica.

O processo objetiva:

- Destruir os resíduos, inertizando-os na forma de cinzas;
- Reduzir drasticamente o volume de resíduo;
- Gerar energia, considerando resíduos combustíveis.

Esses três resultados fazem com que a incineração proporcione a minimização de resíduos, reduz periculosidade e recupera valores, gerando energia. Os compostos mais adequados ao processo são resíduos orgânicos, constituídos basicamente de carbono, hidrogênio e/ou oxigênio; resíduos que contêm carbono, hidrogênio, cloro com teor inferior a 30% em peso e/ou oxigênio e resíduos que apresentam seu poder calorífico inferior, PCI, maior que 4.700 kcal/kg (não necessitando combustível auxiliar para a queima). Portanto, se aplica a um grande número de resíduos orgânicos, não sendo aplicado para tratar resíduos inorgânicos e metais.

A composição química do resíduo irá influenciar o comportamento da combustão bem como, a geração de produtos indesejáveis como fosfogênio, COCl_2 , que é um gás venenoso. Algumas medidas durante a combustão, como manter a temperatura do processo entre 1200-1400° C e tempo de detenção 0,2-0,5s até 2s minimiza o problema da geração deste composto. A eficiência da combustão ou da destruição do resíduo dependem basicamente do tempo de residência, turbulência, temperatura e oxigênio, "3 Ts". O tempo de residência é fundamental para que ocorram as reações de destoxificação. A turbulência é importante para garantir a mistura com o oxigênio, a fim de que ocorra a queima. A temperatura fornece o calor necessário para sustentar o processo.

A incineração tem se mostrado eficiente para tratamento de solos, sedimentos, lodos e líquidos contaminados com compostos orgânicos voláteis halogenados ou não, cianeto orgânico e compostos orgânicos corrosivos. Atualmente também está sendo usada para tratamento de resíduos patogênicos. Por outro lado traz consigo duas preocupações: os gases emitidos pela combustão dos resíduos e a destinação das cinzas e dos particulados retidos nos sistemas de lavagem de gases.

Com relação às **emissões**, a combustão incompleta gera monóxido de carbono, hidrocarbonetos, aldeídos, aminas, ácidos orgânicos policíclicos, ainda alguns componentes do resíduo ou do combustível. Os gases resultantes do processo, bem conduzido são gás carbônico, óxidos de enxofre e nitrogênio, ácido clorídrico, gás inerte e oxigênio proveniente do ar em excesso, ainda água, cinzas e escória resultante de metais ferrosos. Os particulados são constituídos principalmente por óxidos minerais e sais constituintes do resíduo, além de resíduos de combustíveis provenientes da queima incompleta. Para o

controle de emissões são utilizados diversos equipamentos como: lavadores de gases, scrubbers, precipitadores.

A incineração de resíduos que contém enxofre, flúor, cloro, bromo e iodo geram emissões gasosas, cuja presença é evidenciada nas mesmas. Metais como arsênico, mercúrio, cromo e chumbo não são destruídos durante a combustão permanecendo nas cinzas. A remoção de metais das emissões é conseguida através de precipitadores eletrostáticos ou filtros industriais. Os precipitadores eletrostáticos são menos eficientes na remoção dos finos, cuja relevância ambiental é significativa. A destinação dessas cinzas deve ser em aterro para resíduo perigoso. As cinzas, ainda podem conter substâncias orgânicas não queimadas ou tóxicas não destruídas durante o processo.

O efluente líquido resultante da operação de tratamento das emissões gasosas é recolhido na parte inferior da torre e, após ser neutralizado é enviado à Estação de Tratamento de Esgotos. A melhoria qualitativa do efluente da ETE é atingida com tratamentos mais sofisticados, como osmose reversa, clarificação, evaporação, filtração ou adsorção em leito de carvão. O lançamento de efluentes líquidos em corpos d'água devem atender aos limites de emissão e aos padrões de qualidade dos corpos receptores estabelecidos pela Portaria – SSMA – n 05/89 e a Resolução 020/86 de 18/06/86 e às demais exigências estabelecidas no licenciamento ambiental

4.2.1.3.1 Dioxinas e Furanos

A emissão de alguns compostos considerados carcinogênicos e cancerígenos, como policlorodibenzodioxinas e os policlorodibenzofuranos, conhecidas **dioxinas** e **dibenzofuranos**, constituem-se um tema polêmico que tem requerido maior rigor no controle das operações dos incineradores.

As dioxinas e furanos se formam livremente na natureza, pois existem muitos tipos inofensivos. Formam inclusive no metabolismo humano, também em incêndios florestais, erupções vulcânicas e na decomposição de matéria orgânica, sem causar danos. Porém, também se formam como consequência da atividade humana, em processos como: recuperação de metais, siderurgia, produção de agrotóxicos, compostagem, automóveis, queimas caseiras (churrasqueira, lareira), tratamento de efluentes, e reciclagem de cobre de fiação.

Estes componentes altamente tóxicos, como as dioxinas formam-se na combustão em baixa temperatura dos plásticos, a queima de pesticidas, papel branqueado e substâncias usadas para conservação da madeira. A maior formação de dioxinas relaciona-se com uma maior concentração de monóxido de carbono. Assim as temperaturas de operação devem ser mantidas altas e os níveis de monóxido de carbono baixos para reduzir os riscos de que as emissões de dioxina se formem (Corson, 1996).

Existe na natureza uma grande diversidade de dioxinas, que são moléculas formadas por dois anéis benzênicos ligados por dois oxigênios com número variado de átomos de cloro, que podem estar ligados em oito posições diferentes (Figura 7). Existem, ao todo, 75 formas de dioxinas cloradas, sendo que cada uma possui um nível de toxidez diferente. A mais tóxica é a 2,3,7,8-

TCDD (Tetra-Cloro-Dibenzo-Dioxina), com quatro átomos de cloro ligados nas posições 2, 3, 7 e 8. Os furanos são moléculas semelhantes às dioxinas e se diferenciam por possuírem um oxigênio a menos, conforme mostra a mesma Figura 7. Existem 135 moléculas de furanos.

Dos 210 tipos de dioxinas e furanos (PCDD/F) existentes, apenas 17 são tóxicos. Como esta toxidez é diferente para cada tipo, desenvolveu-se um sistema de medição único. Conferiu-se à dioxina mais tóxica, a 2,3,7,8-TCDD, o valor de toxidez 1. Para as outras, foi desenvolvido um Fator de Toxidez Equivalente (TEQ), que compara sua toxidez à 2,3,7,8-TCDD. Então, uma dioxina com TEQ de 0,01 é 100 vezes menos tóxica do que a 2, 3,7,8-TCDD. A formação de dioxinas está condicionada a disponibilidade de matéria orgânica, oxigênio e cloro. A reação é catalisada por enzimas e/ou temperaturas de cerca de 200°C a 400°C, por este motivo as dioxinas podem ser formadas novamente depois dos fluxos de gás deixarem a câmara de combustão, ou seja na câmara da pós-combustão (Connet, 1998).

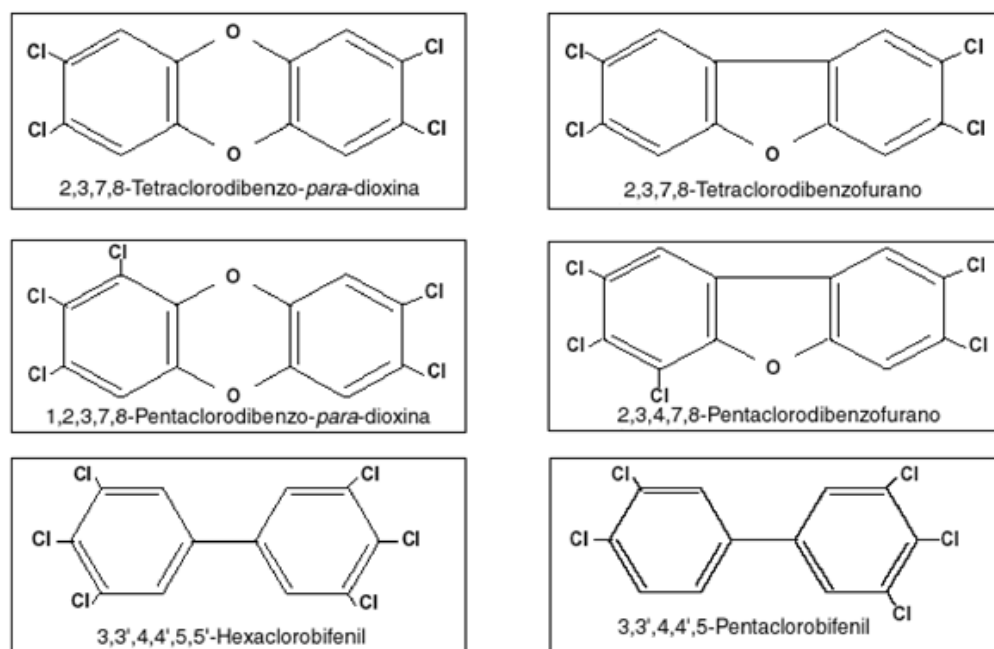


Figura 7 – Representação Estrutural de moléculas de dioxinas e furanos

Fonte: Escolas Verdes (2004)

Segundo Nilsson (1990) as emissões de dioxinas na Suécia são consideradas desprezíveis. O mesmo autor complementa que “aprendemos que dioxinas são geradas em quase todas as atividades de nossa sociedade, e é claro também no lixo”. Por este motivo alguns autores consideram que a incineração de lixo, com combustão eficiente é um método eficiente de controlar dioxinas. Uma investigação na Suécia na década de 90 mostrou que os aterros não controlados oferecem riscos potenciais de emissão de dioxinas, devido a ocorrência de focos de incêndio não controlados. Um único incêndio

descontrolado pode resultar em emissão de dioxina em níveis superiores aos de uma unidade de incineração, durante todo o seu tempo de operação.

Freqüentemente surgem argumentos que as emissões tóxicas de dioxina são extremamente baixas, especialmente quando comparadas aos poluentes convencionais. O contra-argumento está na interferência das dioxinas no sistema hormonal. Em 1992, cientistas holandeses descobriram, que mesmo sujeitos à uma exposição mínima às dioxinas, bebês de uma semana de idade, apresentaram alterações no metabolismo da tireóide (Cornnet, 1998). O mesmo autor relata que em 1989, 16 criadores de vacas leiteiras que estavam expostas às emissões que vinham de um incinerador em Roterdã foram aconselhados a não vender o leite, porque continha três vezes mais dioxina do que o de qualquer outro lugar da Holanda.

Mesmo que os equipamentos de controle tenham evoluído, em janeiro 1998 três incineradores foram interditados na área de Lisle (França), porque o leite produzido nessa região tinha sido contaminado com dioxina em níveis três vezes maiores do que o nível permitido, ou seja, 5 ppt TEQ na gordura do leite. Pode-se notar que os posicionamentos com relação a incineração, como alternativa para o tratamento de resíduos industriais é contraditória.

Não é somente nos EUA que a incineração tem se mostrado tão impopular. Houve forte oposição para propostas de incineradores novos na Austrália, Bélgica, Canadá, França, Alemanha, Itália, Japão, Holanda, Nova Zelândia, Polônia, Espanha, Reino Unido e muitos outros países.

Segundo Nogabe *apud* Alves (1993) a incineração é um dos últimos elos na cadeia de tratamento e disposição de resíduos: "Nós entendemos que a prioridade deve ser a minimização da geração de resíduos no processo e a reciclagem. Somente depois disso, é que se pode pensar em incineração e disposição, embora tenhamos consciência de que, para alguns tipos de resíduos, a incineração é a primeira e única opção de tratamento". Segundo Connet (1998) a construção de um incinerador representa que faltou inteligência política e técnica, para recuperar os resíduos gerados, considerando a questão da sustentabilidade.

4.2.1.3.2 O Processo

Os custos operacionais que incluem trabalho, equipamentos e combustível são dependentes do tipo de resíduo a ser tratado e do tamanho do local. O investimento é variável e pode chegar a centenas de milhões de dólares dependendo do tipo de instalação e do volume de resíduo a ser tratado. Por exemplo, uma instalação para 2000 toneladas por dia, que foi posta em funcionamento próxima a Amsterdã (Holanda), em 1995, custou a enorme quantia de US\$ 600 milhões, cuja metade do investimento foi destinada ao controle das emissões atmosféricas (Cornett, 1998).

A possibilidade de algum reaproveitamento reduz estes custos assim como, as necessidades de tratamento anterior à disposição final crescem os custos. Os custos por tonelada de resíduo a ser incinerada variam entre US\$ 200 a 2.200, dependendo do tipo de resíduo. Os incineradores mais usados para

resíduos perigosos são os de injeção líquida e os rotativos. Por ser considerado o mais caro método entre todos os disponíveis para disposição e tratamento de resíduos as empresas geradoras de resíduos tem buscado alternativas para incineração dos mesmos e a opção mais utilizada, até o momento, é a queima em fornos de cimento, que operam também em temperaturas elevadas.

Os principais equipamentos de incineração são:

- **Fornos rotativos:** são fornos ligeiramente inclinados sob um plano horizontal revestidos de material refratário (Figura 8). A fração volátil do resíduo sólido é queimada em uma câmara secundária do forno e nesta câmara podem ser injetados resíduos líquidos.

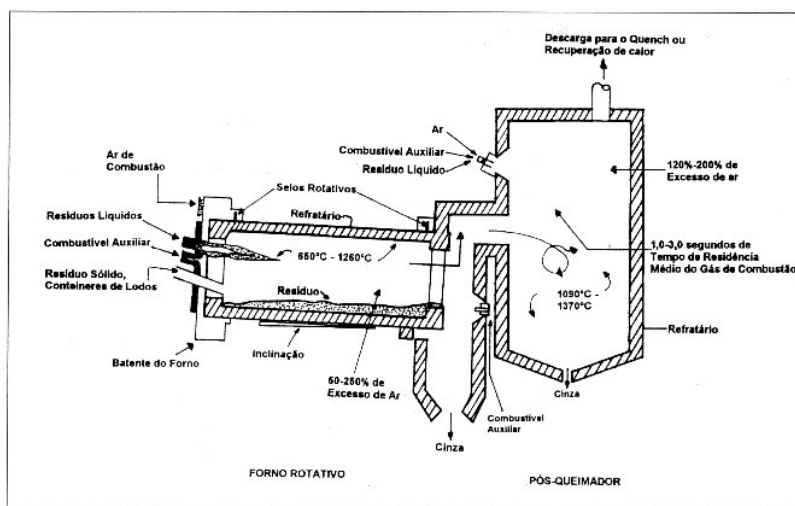


Figura 8 – Incinerador de Forno Rotativo

- **Fornos de injeção líquida:** são fornos inclinados e revestidos internamente com material refratário, podem ser horizontais ou verticais. Como o resíduo é atomizado há uma limitação com relação ao tamanho das partículas.
- **Fornos de múltiplos estágios:** composto por uma estrutura externa de aço e revestida internamente com material refratário. Geralmente é composto por 6 a 12 câmaras onde o ar injetado resfria a coluna e os braços de arraste. O ar quente circula da parte superior para o fundo conservando o calor.
- **Forno de grade móvel ou fixa:** constituído por 2 câmaras, neste sistema é necessário combustível para início e manutenção da queima. O suprimento de ar é fundamental para garantir a turbulência necessária para misturar o ar e o resíduo controlando a formação de particulados.
- **Forno de leito fluidizado:** é constituído por um vaso recheado de material inerte, geralmente areia, a uma temperatura de 450-850° C. O ar é injetado pela parte inferior com o objetivo de manter o leito em suspensão. Os resíduos e o combustível auxiliar são injetados radialmente em pequenas

quantidades e ao entrarem em combustão devolvem o calor retirado do leito.

- **Incinerador de plasma:** neste processo a energia elétrica transformada em plasma (gás ionizado eletricamente condutivo, constituído de partículas carregadas e de neutrons) age transferindo e convertendo energia. Esta energia libera elétrons que quebram as ligações entre moléculas quase instantaneamente, sendo que o resfriamento rápido impede a recombinação destas moléculas.
- **Incinerador de câmaras múltiplas:** constituído geralmente por 3 câmaras refratárias. Basicamente são de dois tipos: tipo retorna – onde os gases fluem através das câmaras distribuídas em “V” e do tipo em linha – onde as câmaras são construídas em série. A alimentação, a ignição e a queima se dão na primeira câmara, os gases voláteis provenientes da oxidação parcial passam para a segunda câmara onde ocorre a combustão turbulenta da mistura. Estes gases são conduzidos para a terceira câmara onde ocorre a combustão final. Este equipamento pode ser utilizado para resíduos sólidos e líquidos. Os resíduos líquidos são atomizados juntamente com o ar e necessitam de um tempo de residência maior e combustível auxiliar, caso o poder calorífico seja baixo.

Os padrões de emissão para o estado do Rio Grande do Sul são apresentadas no Quadro 4. A Resolução CONAMA 316/02 de 29.10.02 dispõe sobre “procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos”.

Quadro 4 – Padrões de Emissão para a Incineração no RS

EMISSÃO	LIMITE
Material particulado	70 mg/Nm ³ (capacidade de incineração até 1500Kg/dia) 70 mg/Nm ³ (capacidade de incineração superior 1500Kg/dia)
Monóxido de carbono	125 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂
Óxidos de nitrogênio (NO₂)	560 mg/Nm ³
Óxidos de enxofre (SO₂)	250 mg/Nm ³
Ácido clorídrico	80 mg/Nm ³
Ácido fluorídrico	5 mg/Nm ³
Chumbo	1,29 mg/Nm ³ (capacidade de incineração até 200Kg/dia) 0,08 mg/Nm ³ (capacidade de incineração até 200Kg/dia)
Cádmio	0,17 mg/Nm ³ (capacidade de incineração até 200Kg/dia) 0,04 mg/Nm ³ (capacidade de incineração superior 200Kg/dia)
Mercúrio	0,59 mg/Nm ³
Dioxinas e Furanos	2,47 mg/Nm ³ TEQ (capacidade de incineração até 200Kg/dia) 0,64 mg/Nm ³ TEQ (capacidade de incineração superior 200Kg/dia)

4.2.1.3.3 Sistemas de Proteção Atmosférica

Um dos principais sistemas de controle de poluição atmosférica, mais comumente utilizado, nas plantas de incineração de resíduos é composto por um *quench* (resfriador e condicionador de gases), seguido por um lavador Venturi de alta energia (remoção de particulados), um sistema de ciclones, um absorvedor do tipo Torre de Recheio (remoção de gases ácidos) e um eliminador de névoas (redução de plumas visíveis de vapor). Outros sistemas

de tratamento podem ser projetados, através de composições de equipamentos em função do que se deseja incinerar.

a) Remoção de Particulados

- **Ciclone**

Trata-se de um sistema de coleta que faz agir sobre as partículas a força centrífuga para viabilizar a coleta, empurrando a partícula na direção das paredes do ciclone, retirando-as do fluxo gasoso. O gás entrando tangencialmente no topo do ciclone cria um fluxo espiral descendente entre a parede e o duto de saída, estendendo-se até a base do cone e retornando em movimento espiral ascendente interno que se estende até o duto de saída, que se estende até o duto de saída, dando descarga ao gás limpo. Sua aplicação na coleta de material particulado apresenta como principais vantagens o baixo custo, baixa potência consumida, simplicidade de projeto, fácil construção e manutenção e inexistência de temperatura de gases que seja limitante. Suas principais desvantagens estão ligadas à baixa eficiência para partículas inferiores a 5 μm , à abrasão excessiva e à possibilidade de entupimento pela presença de altas concentrações de poeiras, principalmente as de menor diâmetro, mais higroscópicas e mais pegajosas.

- **Filtro de mangas**

Trata-se de um dos mais antigos métodos de remoção de partículas e pode apresentar altas eficiências para uma ampla faixa de tamanho de partículas. O fluxo de gás carregado de partículas é forçado através de um meio poroso, filtros de tecido. Filtros que ainda não tenham sido utilizados, a eficiência de coleta é baixa (na ordem de 60%) e, tão logo o material particulado se deposite, a eficiência passa para valores em torno de 90%. Os principais fatores limitantes da utilização de filtros de tecido são as altas temperaturas dos gases, a excessiva umidade, partículas condensáveis e pegajosas e o grande espaço ocupado. Assim, podemos resumir como principais vantagens dos filtros de mangas a sua elevada eficiência, perda de carga não excessiva e resistência à corrosão. Como desvantagens, teríamos o alto espaço requerido, alto custo, pouca resistência a elevadas temperaturas e facilidades de entupimento necessitando limpeza freqüente.

- **Lavador Venturi**

Trata-se do sistema de coletor úmido mais utilizado, cujo princípio geral de funcionamento está baseado em fazer o gás carregado do material particulado, passar através de uma aspersão de gotas, com as quais se chocam, e se depositam por difusão, também agindo como núcleo de condensação de água, conseqüentemente, aumentando de tamanho, o que tornando sua coleta facilitada. Especificamente nos lavadores Venturi, o fluxo gasoso tem sua velocidade aumentada ao passar através de constrição (garganta), onde o líquido é injetado e atomizado pela alta velocidade do gás. Os principais mecanismos de coleta são a impactação (mais significativo), interceptação e condensação. Após a instalação de um Venturi um coletor

secundário deve ser instalado, normalmente um ciclone, para abater as partículas que tiveram seu tamanho aumentado no Venturi. A condensação também merece destaque num lavador Venturini, uma vez que, se o gás, na região de baixa pressão (correspondente a garganta Venturi) estiver completamente saturado (de preferência super-saturado) haverá condensação sobre as partículas na região de mais altas pressões (correspondente ao expensor do Venturi). A partícula, então aumenta de tamanho, a superfície molhada auxilia a aglomeração e sua posterior coleta.

- **Precipitador Eletrostático**

O princípio de funcionamento está baseado na ionização do ar, ou seja, o fluxo de ar que carrega as partículas passa por uma alta diferença de potencial. O gás se ioniza carregando eletricamente as partículas, fazendo com que elas migrem em direção ao pólo de carga contrária (positiva e negativa). Os precipitadores eletrostáticos apresentam alta eficiência de coleta para uma ampla faixa de tamanho de partículas, desde que observadas as condições de projeto. Rendimentos na faixa de 95 a 99% em peso são obtidos comumente para partículas entre 0,1 a 200 μm . A velocidade de passagem de fluxo através do precipitador deve ser baixa para possibilitar que as partículas se carreguem e que depois de coletadas, não voltem ao fluxo gasoso. Algumas das principais vantagens estão relacionadas ao tratamento de grandes vazões de gás a altas temperaturas, a baixa perda de carga, alta eficiência de coleta de partículas, baixos custos de manutenção e operação. Como desvantagens destacam-se os investimentos iniciais, o grande espaço requerido e os riscos provocados pela alta tensão.

b) Tratamento de Gases

- **Torre de Enchimento**

Consiste em manter um contato íntimo entre soluto/solvente, através de um fluxo em contracorrente de fluidos, através de um enchimento (recheio) cujo material e forma devem favorecer uma maior área superficial. O material de enchimento deve possuir grande resistência, ser quimicamente inerte e de baixo custo (anéis de rasching, anéis de pall, sela de berl, entre outros). O líquido de lavagem é alimentado no topo da torre, fluindo através do leito (recheio) umedecendo o material de enchimento e propiciando o contato interfacial para transferência de massa com a fase gasosa. As torres de enchimento são projetadas para trabalharem entre 40 a 70% do ponto de transbordamento. O projeto de uma torre de enchimento implica na determinação do diâmetro da torre, da altura da torre (altura do enchimento), quantidade de solvente a utilizar (vazão) e a perda de carga na torre. Esse equipamento é muito utilizado em incineradores de injeção líquida, devido a sua particularidade de apresentar baixos teores de particulados, que podem entupir os materiais de recheio.

- **Torre de Atomização**

Trata-se de um lavador de gases que se utiliza do processo de absorção do gás para a remoção dos poluentes. O líquido de lavagem é atomizado em alta pressão através dos bocais de esguicho, contra o fluxo de gás, normalmente em contracorrente. É recomendado para efluentes gasosos com partículas e poluentes gasosos independente da temperatura e teor de umidade.

- **Torre de Pratos**

Consiste do mesmo princípio de funcionamento das torres de enchimento, sendo que a diferença básica está na forma de promover o contato íntimo entre o soluto e o solvente. Nas torres de prato, o contato é feito em vários estágios (pratos), associando borbulhadores individualizados em cada estágio. A escolha por um ou outro equipamento recai, entre outros fatores, nas vazões de gás e de líquido, e no grau de corrosividade. As torres de enchimento oferecem menor perda de pressão, sendo mais adequadas em operações a pressões negativas do que as torres de prato projetadas para as mesmas condições. Para líquidos com tendência a formar espumas, devem ser usadas torres de enchimento. Torres de enchimento, em geral, operam com quantidade de líquido menor. Quando o líquido contiver material sólido em suspensão, deve ser usada a torre de prato, pois as de enchimento entopem com muita facilidade. Quando ocorrer apreciáveis diferenças de temperatura deve ser usada torre de prato, pois a contínua contração e expansão do material usado como enchimento pode causar o colapso do mesmo.

- **Lavador Venturini**

É um equipamento muito utilizado para nos incineradores de forno rotativo e de injeção líquida, podendo também ser utilizado em incineradores de leito fluidizado. É adequado para remoção, além de particulados, para a remoção de gases nocivos altamente (HCl, HF) ou reativos com a solução de lavagem (SO_x, NO_x, HCN).

4.2.1.4 Co-processamento

É a técnica de incorporação de resíduos no processo de fabricação de clínquer (cimento), a partir do seu aproveitamento, resultando na destruição térmica eficiente e segura, sob o ponto de vista operacional e ambiental. O co-processamento aplica-se a resíduos substitutos de matérias primas e resíduos substitutos de combustíveis. Nos Estados Unidos esta alternativa está bastante disseminada. As empresas prestadoras de serviço de incineração no Brasil, cobram valores que variam de US \$1.000 a \$ 3.000 a tonelada, dependendo do tipo de resíduo, enquanto a disposição em aterro pode custar US \$150 por tonelada e a queima em fornos de cimento de US \$100 a \$ 700.

Sendo assim, a incineração em fornos de cimento tem sido uma boa opção dependendo do poder calorífico dos resíduos, este processo de queima ainda é capaz de reduzir a utilização dos combustíveis, como carvão ou óleo

combustível, necessários para alimentação do forno. As cinzas, por sua vez, são totalmente incorporadas ao clínquer, matéria-prima para fabricação do cimento, não havendo a necessidade de disposição em aterros. A Resolução CONAMA 264/99 define o regramento para o Licenciamento Ambiental para o Co-processamento de Resíduos em Fornos Rotativos de Clínquer, para a fabricação de Cimento (CONAMA, 1999).

As restrições devem abranger basicamente os tipos de resíduos a serem co-processados, quantidade deste material e equipamento para controle e monitoramento dos processos. As mais sérias restrições referem-se à queima de materiais clorados e outros produtos com alta concentração de metais pesados, pois estes não são destruídos dentro do forno, sendo incorporados ao cimento ou dispersos na atmosfera. Perfeitas condições de co-processamento podem também ser conseguidas em fornos siderúrgicos, caldeiras de variados tipos ou fornos industriais, desde que compatibilizados ao tipo de resíduo a ser queimado.

Os principais resíduos utilizáveis são borras oleosas, borrachas não cloradas, solventes, ceras, carvão ativado usado como filtro, borras ácidas, pneus, borras de tintas, resinas fenólicas e acrílicas e elementos filtrantes de filtros de óleo. Estes devem fazer parte do processo produtivo de clínquer sem provocar oscilações nas condições de operação.

As pesquisas que avaliam o **comportamento dos compostos orgânicos e inorgânicos no processo de fabricação do cimento** têm concluído alguns pontos que ainda são controvertidos considerando a legislação brasileira:

- os compostos orgânicos são inteiramente destruídos no processo, devido a alta temperatura, na ordem de 1400° C. Esta alta temperatura é mantida por vários minutos, tempo necessário para a formação do clínquer, substância que confere as propriedades hidráulicas ao cimento. Nas análises do clínquer não são encontrados compostos orgânicos, o que comprova a eficiência do processo.
- os compostos inorgânicos de maior importância são os metais pesados, mas eles não são estranhos ao processo, pois estão presentes no carvão, óleo e matérias-primas fazendo parte da estrutura cristalina do clínquer, sem prejudicar a qualidade do produto
- Não existem diferenças na lixiviabilidade dos metais, entre um cimento fabricado utilizando combustíveis tradicionais e um cimento fabricado utilizando resíduos industriais como insumo alternativo.

Alguns estudos mostram que as emissões gasosas da indústria cimenteira são muito pequenas, normalmente liberam na ordem de 1/10 da quantidade de hidrocarbonetos emitidos por um automóvel.

Como vimos anteriormente o pneu é altamente combustível e possui poder calorífico de cerca de 7.000 kcal/kg, que é superior ao do carvão, portanto se constitui em um dos resíduos com características adequadas para este tipo de tratamento. Cada pneu contém a energia de 9,4 litros de petróleo. Além disso, o seu uso em fornos industriais contribui para a diminuição do

consumo de combustíveis não-renováveis, como carvão e óleo. Os principais usuários de pneus em caldeiras são as indústrias de celulose e papel e as fábricas de cal e cimento.

Diversas fábricas de cimento na Europa e nos Estados Unidos estão processando pneus em seus fornos. São 78 fábricas no mundo todo, que se concentram no Japão (23 fábricas), na Alemanha (20) e nos EUA (14). No Brasil, o coprocessamento de pneus em fornos de cimentos começou em 1998, na Ciminas, em Pedro Leopoldo (MG). A Ciminas é uma das unidades industriais da Holdercim Brasil, que pertence ao Grupo Holdebank, de origem suíça, maior produtor mundial de cimento.

A contribuição calórica real do pneu é de 7.814 kcal/kg nos pneus de passeio e 6.275kcal/kg nos pneus de transporte. A alimentação de pneus nos fornos pode variar de 3 a 15% do combustível utilizado, sendo que a Ciminas já chegou a processar cerca de mil toneladas de pneu por mês. Mas, desde junho de 1999, a empresa passou a cobrar, das entidades que forneciam os pneus, pelo processamento destes resíduos, cerca de R\$ 100 a tonelada.

a) Fabricação do cimento

O processo de clinquerização é representado na Figura 9. As variáveis de controle são alimentação de matéria-prima, exaustão e combustível; as variáveis de estado são a temperatura da zona de queima, o teor de oxigênio na queima, O_2 e a temperatura do fundo do forno.

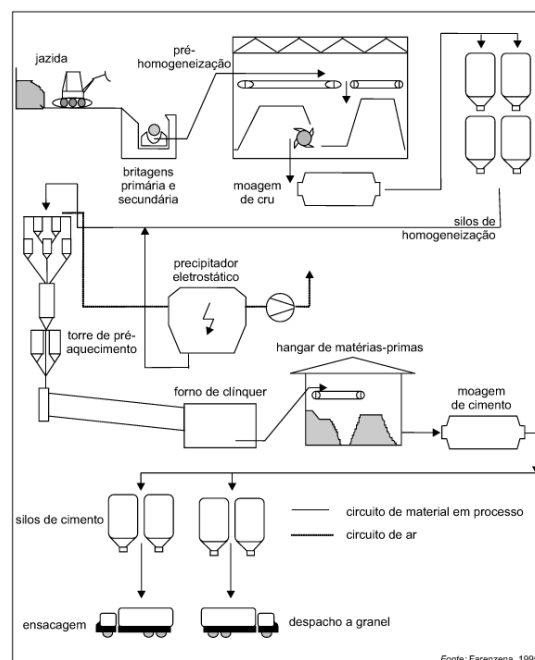


Figura 9 – Fluxograma da Produção de Cimento

A produção de cimento exige que a temperatura do material ultrapasse 1400° C, enquanto a temperatura dos gases do forno chega até 2000° C, necessitando para isso, combustíveis de alto valor energético podem ser usados diversos resíduos que possuem estas características, como restos de solventes, tintas endurecidas, tinner e outros. Este processo também é uma excelente alternativa para destinação de pneus velhos, que possuem alto valor energético. As normas do CONAMA são bastante rigorosas no controle dos padrões específicos para o cimento, além disso, o processo de produção é bastante sensível, de modo que as empresas não podem utilizar resíduos que causem alterações no produto.

As adições ao cimento melhoram certas características e preservam o ambiente e aproveitam resíduos diminuindo a extração de matéria-prima (CaCO₃, SiO₂, Al₂O₃, Fe, S entre outros). Do ponto de vista ecológico, além da preservação das jazidas de calcário, o ponto forte é o aproveitamento de resíduos poluidores, como é o caso da escória granulada de alto-forno, um subproduto da fabricação do ferro-gusa. Já as pozolanas, que podem ser cinzas volantes, argilas calcinadas, diatomitos, rochas vulcânicas, sílica ativa têm a vantagem de promover a redução da quantidade do aluminato tricálcico, componente do clínquer. A fabricação pode ser esquematicamente representada pela reação (Figura 10).

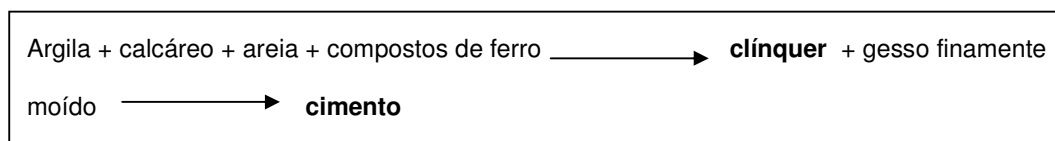


Figura 10 – Representação esquemática da Fabricação do Cimento

O co-processamento pressupõe licenciamento prévio pelo órgão ambiental competente. No Rio Grande do Sul o processo é regido pela NORMA TÉCNICA FEPAM n.º 01/99 - setembro/99.

Os órgãos ambientais identificaram dez metais que devem ser controlados: antimônio, bário, arsênio, berílio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio, prata e tálio. Todos os fornos que pretendem alimentar resíduos necessitam monitorar a emissão desses metais. Os metais são incorporados ao cimento a partir de resíduos para substituir combustíveis ou as matérias primas. Eles não são destruídos no processo, portanto a taxa de alimentação de resíduo deve ser cuidadosamente prevista para que os limites para as emissões gasosas sejam obedecidos. Os equipamentos de proteção de emissões atmosféricas, principalmente precipitadores eletrostáticos, protegem o meio ambiente quanto à dispersão de poeiras contaminadas que retornam ao processo após serem retidas.

Os compostos metálicos reagem quimicamente com a argila, calcáreo e outras matérias primas, formando uma estrutura cristalina bastante resistente, o clínquer. O chumbo em presença de halogênio forma emissões gasosas que não se fixa ao clínquer. Além disso, os produtos halogenados, como tetracloreto de carbono ou triclorobenzeno formam HCl nos fornos que reagem

com os óxidos de sódio e potássio. Estes compostos permanecem sob a forma gasosa, na zona quente do forno e se condensam na zona fria causando inúmeros problemas na operação dos mesmos, inclusive provocando obstrução.

4.2.1.5 Plasma Térmico

O plasma é produzido instantaneamente pela passagem do gás através de um arco elétrico sendo, portanto um gás ionizado condutor de eletricidade. Pode-se entendê-lo como sendo um gás a altas temperaturas, maiores que 10.000°C , podendo atingir até cerca de 50.000°C , gerado pelo uso de eletricidade, normalmente pelo emprego de um arco elétrico. O aquecimento de um gás à temperaturas elevadas provoca mudanças significativas nas suas propriedades. A cerca de 2000°C , as moléculas deste começam a se dissociar em estado atômico. A 3000°C , os átomos são ionizados pela perda de parte dos elétrons. Este gás ionizado é chamado de plasma, conhecido como o quarto estado da matéria.

Plasma térmico tem sido utilizado no mundo inteiro nos últimos 30 anos em diversos processos industriais, incluindo desde metalurgia (aquecimento de placas, lingotamento contínuo, produção de ferro-ligas e outros), à produção de novos materiais (como zircônia, sílica ultra-pura, compósitos) e mais recentemente para o tratamento de resíduos potencialmente perigosos (decomposição de organo-clorados, refusão de cinzas de incineração, tratamento de solos contaminados, tratamento de lixo hospitalar). A *SKF Stell Company* desenvolveu um processo com tecnologia de plasma para recuperar ferro, zinco e chumbo das poeiras originárias da indústria siderúrgica, o referido processo, Nemerow (1991). A Figura 11 mostra a representação esquemática do processo de plasma térmico para o tratamento de resíduos.

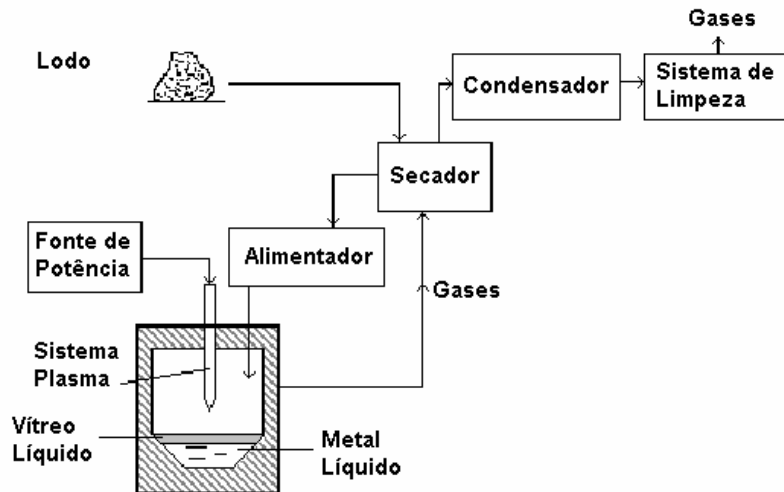


Figura 11 – Sistema de Tratamento de Resíduos por Plasma Térmico

Fonte: Szente apud Tocchetto et al (1997).

A tocha de plasma é gerada pela formação de um arco elétrico, através da passagem elétrica entre o cátodo e o ânodo, e a injeção de um gás que é ionizado e projetado sobre a massa de resíduos. Quase todos os gases industriais podem ser utilizados para se gerar plasma, como argônio, nitrogênio, ar, hidrogênio, amônia, cloro, oxigênio, monóxido de carbono e muitos outros, tornando esta tecnologia bastante flexível. Existem basicamente dois tipos de tratamento, ou seja, fazendo a tocha incidir diretamente sobre o resíduo ou promovendo um aquecimento prévio do mesmo em uma câmara de gaseificação.

Os resíduos quando submetidos a ação direta do plasma modificam a sua composição química original, decompondo-se em compostos mais simples. O processo em duas câmaras consiste na gaseificação da parte orgânica, na primeira câmara e na fusão da parte inorgânica. O gás e o líquido formados são decompostos em uma segunda câmara, chamada reator de plasma. Após a dissociação ocorrida os materiais são recuperados em três formas distintas, como gás de plasma que é encaminhado ao sistema de combustão para reaproveitamento do poder calorífico. Os materiais inorgânicos, silicatos vítreos, sobrenadarão a fase metálica líquida, após a solidificação formam um composto vítreo de cor negra e altíssima dureza, muito similar a um mineral de origem vulcânica. Os metais mesmo perigosos ficam encapsulados neste material.

Testes de lixiviação e de solubilização comprovam que estes ficam totalmente aprisionados nesta estrutura cristalina. O processo não dispensa um sofisticado sistema de tratamento de emissões atmosféricas, como lavadores de gases. Os metais presentes na fase vítrea ou metálica podem ser recuperados, pois muitos possuem valor econômico agregado, como níquel, zinco e cobre. O material vítreo pode ser utilizado como em enchimento para pavimentação, revestimentos cerâmicos e material isolante térmico e elétrico.

O método por plasma está ganhando importância, como para fusão de sucata de metais, ligas, alumínio contido em rejeitos, lamas de eletrodeposição, recuperação de metais de catalisadores exaustos e cinzas de incineração. A redução de volume dos materiais sólidos obtidos chega a 300 vezes em relação aos demais métodos térmicos. O processo pode ser utilizado para todos os tipos de resíduos sejam agrotóxicos, PCB's, organoclorados, biológicos, inclusive resíduos nucleares.

As principais vantagens e desvantagens do uso de plasma na decomposição térmica de substâncias são

Vantagens

- elevadas temperaturas causam rápida e completa pirólise da substância orgânica, permitindo fundir e vitrificar certos resíduos inorgânicos;
- os produtos vitrificados são similares a um mineral de alta dureza;
- reduções de volume extremamente elevadas, superiores a 99%.

Desvantagens

- é uma técnica que exige um volumoso investimento, até porque só pode ser rentabilizada quando acoplada a uma central termoeletrica. O elevado investimento pressupõe a continuada disponibilidade de resíduos a tratar o que pode ser comprometedor para uma estratégia de redução, a médio ou longo prazo;
- o sistema não dispensa um sofisticado sistema de lavagem de gases, tal como a incineração, para a retenção dos metais voláteis e dos gases ácidos;
- no que diz respeito à produção de dioxinas/furanos, não é totalmente claro que se possa garantir inequivocamente maior vantagem sobre as tecnologias de incineração mais avançadas nem com as técnicas mais simples de gaseificação.

4.2.2 Tratamentos Biológicos

O tratamento biológico de resíduos consiste na utilização de microrganismos vivos para estabilizar ou destruir contaminantes orgânicos e inorgânicos. Estes microrganismos utilizam os resíduos como fonte de energia e de carbono. A especificidade destas tecnologias restringe significativamente a sua aplicação.

A degradação dos resíduos pode ser feita em meio aeróbio ou anaeróbio. Nos processos aeróbios, o O_2 é utilizado para transformar as moléculas orgânicas complexas em CO_2 , vapor de água e eventualmente sais inorgânicos. Este mecanismo de degradação exige a presença de fósforo e nitrogênio, bem como outros elementos que funcionam como receptores de elétrons.

O desenvolvimento de microrganismos que vão degradar as moléculas dos resíduos tóxicos exige condições bem definidas, sem as quais os microrganismos não se desenvolvem. A capacidade de degradação pode ser definida em testes de laboratório em que se determina a quantidade de oxigênio e nutrientes necessária.

A viabilidade do tratamento depende da concentração de nutrientes disponíveis, nitrogênio, fósforo e enxofre bem como, outros elementos essenciais que deverão ser controlados. As quantidades de água, temperatura, oxigênio, acidez ou alcalinidade do meio, bem como a presença de microrganismos competidores deve ser avaliada e condicionada.

Os microrganismos promotores da degradação podem ser administrados adicionando estirpes mais adequadas. A manipulação genética permite prever a possibilidade do desenvolvimento de microrganismos particularmente resistentes a meios adversos, mas levantam graves objeções sobre as consequências ambientais resultantes da disseminação de novas estirpes com efeitos imprevisíveis. O fornecimento de oxigênio pode ser através da injeção de ar, o que aumenta os custos do processo ou pelo revolvimento, como no caso do *landfarming*.

4.2.2.1 Landfarming

A tecnologia é classificada como **tratamento biológico**, pois utiliza-se da capacidade dos microrganismos degradar a matéria orgânica. Os constituintes do resíduo, a ser tratado são biodegradados, destoxificados, transformados e imobilizados através da atividade microbiana, das propriedades físicas e químicas do solo reduzindo assim, os riscos de contaminação ambiental.

O processo de landfarming é uma tecnologia de remediação biológica de solos contaminados, lodos ou material com características, cuja ação dos microrganismos gera materiais inócuos para o ambiente, ou subprodutos estabilizados que não representam perigo. A Figura 12 mostra o processo de landfarming e a sua operação.

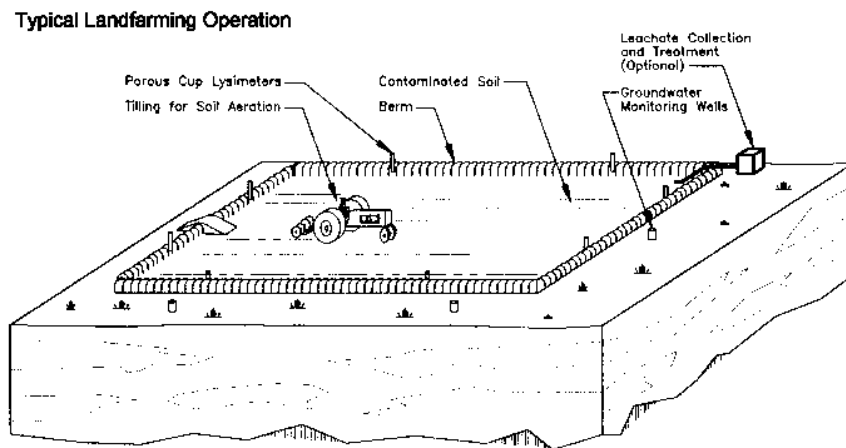


Figura 12 – Processo Biológico de Tratamento de Resíduos: Landfarming

Os materiais contaminados são aspergidos na superfície do solo. As populações naturais de microrganismos do solo (bactérias, fungos, protozoários) utilizam o contaminante como fonte de alimento, transformando-o em produtos inócuos. A incorporação de resíduos em terras preparadas para estabilizar lodos perigosos é usada como uma técnica de tratamento e disposição. Esta técnica é adequada somente em casos onde a disposição não causa danos ou a terra não é usada para cultivo de alimentos.

O monitoramento e o controle do processo são estabelecidos a partir dos seguintes parâmetros:

- Incorporação do resíduo (arado);
- Sistema de coleta de lixiviados;
- Revestimento impermeável do solo (argila ou geomembrana);
- Umidade (irrigação);
- Nível de oxigenação (aragem ou ventilação forçada);
- Nutriente (se adicionam macroelementos segundo as necessidades);

- pH (se controla com técnicas agrícolas);
- Temperatura (controlada com água aspergida).

Este método de confinamento é de aplicação limitada para a maioria dos resíduos perigosos. Entretanto, é um método adequado para tratamento de óleos e outras substâncias biodegradáveis, pois o método consiste na utilização da atividade das bactérias do solo que utilizam a matéria orgânica do resíduo como alimento, reduzindo, assim seu impacto e toxicidade através da geração de produtos menos tóxicos. Compostos clorados ou nitrogenados são, em geral, difíceis para degradar.

De acordo com a EPA, a quantidade de resíduos sólidos industriais é limitada pelo tipo de solo, drenagem, permeabilidade e pH do resíduo, densidade, sais solúveis e concentração de metais, conteúdo de nitrogênio e pressão. O custo deste processo varia largamente, de 2 a 80 dólares/m³ de resíduo, o custo de transporte deve ser adicionado a este valor.

A seleção do local, além de ser fundamental para garantir a eficiência do processo é importante para garantir a segurança e proteção ambiental. Locais com falhas geológicas, alta permeabilidade, aquíferos utilizados para abastecimento de água, nível alto de águas subterrâneas, susceptibilidade a erosão, locais pantanosos, declividade superior a 5%, são desaconselháveis para implantação deste tipo de tratamento.

O controle das águas é fundamental para a segurança do tratamento, pois os constituintes perigosos podem ser transportados e solubilizados atingindo o lençol freático e cursos d'água superficiais. As águas geradas ou escoadas, através do sistema devem ser conduzidas a estação de tratamento de efluentes líquidos, a fim de evitar algum risco de contaminação ambiental. A atividade microbiana ocorre em condições aeróbias, portanto a umidade do solo deve ser constantemente controlada.

O monitoramento do sistema deve ser realizado periodicamente com retiradas de amostras de solo e de solo-resíduo, a fim de acompanhar o processo de degradação dos constituintes tóxicos e o comportamento da pluma dos contaminantes. Na adoção desta forma de tratamento a escolha do local, a caracterização do resíduo adequado ao projeto e as práticas de manejo são decisivas para o bom desempenho do sistema. Os critérios para projeto, implantação e operação devem obedecer a norma PN 1:603.06.002 – Tratamento no Solo (*landfarming*).

4.2.3 Tratamentos Físicos

4.2.3.1 Secagem e desidratação de lodos

Muitos processos descritos anteriormente necessitam de um tratamento físico antes da disposição final, principalmente para redução de volume. Esse processo retira os poluentes dos efluentes concentrando-os em lodo ou lama, pois grande parte dos resíduos é constituída por uma fase líquida, geralmente água ou solvente, superior a 90-95%, e uma fase sólida, Rocca *et al* (1993).

Independentemente da composição, os lodos que devem ser tratados ou dispostos em instalações adequadas dentro da própria indústria ou fora dela, necessitando serem transportados dos locais de geração até essas instalações. Os custos de transporte são função do volume e da distância, geralmente as instalações de tratamento ou disposição são localizadas a vários quilômetros dos pontos de geração, por isso é interessante para a indústria adotar um tratamento que permita redução do volume. Isso pode ser conseguido através da secagem e desidratação.

A escolha de um método para secagem ou desidratação vai depender das características físicas, físico-químicas e químicas do lodo e da disponibilidade de instalações para processar esses materiais. As características do material e o volume a ser tratado ou disposto são fatores determinantes nos custos.

Os métodos mais utilizados para secagem e desidratação de lodos são: centrifugação, filtração em filtro-prensa de placas, filtração em filtros prensa de cinto, filtração a vácuo e leitos de secagem. Os equipamentos mecânicos retêm as partículas sólidas através da passagem por uma superfície perfurada onde age uma força externa contrária ao fluxo.

Na **centrifugação** o lodo gira velozmente em uma cuba de parede filtrante. Nos **filtros-prensa de cinto** a força é aplicada externamente aos meios filtrantes, comprimindo-os contra o lodo criando dessa maneira um fluxo através dele. Nos **filtros a vácuo** a força externa é criada reduzindo-se a pressão no interior de um cilindro filtrante, o que criará um fluxo através dele. Nos **leitos de secagem** não é aplicada nenhuma força externa, a desidratação ocorre por evaporação e pela absorção do líquido pelo leito filtrante.

4.2.3.2 Solidificação/estabilização (S/S)

Solidificação refere-se ao encapsulamento de material perigoso com algum composto inerte. O encapsulamento que envolve cada partícula denomina-se, microencapsulamento, ou em grandes blocos ou *containers* de resíduos chama-se, macroencapsulamento. Este processo também, conhecido como solidificação, estabilização ou fixação, consiste na estabilização ou imobilização de resíduos perigosos transformando-os em materiais menos poluentes através da adição de aglomerantes ou por processos físicos.

Estabilização refere-se a técnica de tratar resíduo perigoso alterando a solubilidade, mobilidade ou toxidez.

Os principais objetivos são:

- Melhorar as características físicas e de manuseio do resíduo;
- Diminuir a área superficial de transferência ou perda de constituintes para o meio;
- Limitar a solubilidade de qualquer constituinte do resíduo;
- Imobilizar constituintes perigosos.

A tecnologia S/S utiliza as duas técnicas, imobilizando diversos metais pesados, certos radioisótopos e compostos orgânicos, solos contaminados,

vários tipos de lodos e resíduos sólidos através da redução de permeabilidade e da área superficial. Este método é adequado mais a resíduos inorgânicos do que orgânicos, devido as grandes variações de composição destes podendo reagir com o agente aglutinante, mais especificamente é adequado ao tratamento de resíduos perigosos.

Os agentes utilizados são cimento Portland, cinzas de fornos de calcinação, óxidos, cal, calcáreo, cinzas finas, *fly ash*, misturas destes materiais e aglutinantes orgânicos como, asfalto, plásticos termocurados, borracha. O agente aglutinante é misturado ao resíduo na razão que varia de 1:10 a 1:2 e o produto final pode ser uma massa sólida de qualquer tamanho ou granular com consistência semelhante ao solo. Este produto pode ser entamborado em galões ou *containers*, ou em moldes para ser disposto em área protegida, valas, células ou ainda ser reutilizado como material para construção desde que aprovado pela legislação.

Nemerow (1991) cita diversas utilizações para os resíduos fixados em uma base, por exemplo, lodos tóxicos com substâncias combustíveis podem ser misturados a argila para formar briquetes ou blocos, e posteriormente serem queimados em fornos e caldeiras possibilitando economia de energia e reservas naturais de combustíveis, como petróleo. Os metais incorporados aos briquetes não apresentam teores superiores aos estabelecidos pela legislação.

Outros materiais aglutinantes são utilizados como termoplásticos, polímeros orgânicos que oferecem dentre outras vantagens reduzida lixiviação, volume menor, porém exigem equipamentos e mão de obra especializada representando custos mais elevados. Os processos de vitrificação e produção de minerais sintéticos ou cerâmicos oferecem alta contenção do resíduo, porém com grande consumo de energia, pois a temperatura deve atingir 1350° C, exigindo mão de obra e equipamentos específicos, Rocca *et al* (1993). Compósitos têm sido uma alternativa para a incorporação de resíduos, por exemplo, de biomassa. Compósitos são materiais heterogêneos, multifásicos, poliméricos ou não, no qual um dos componentes, descontínuo, é o responsável pela resistência do material (componente estrutural) e o outro, contínuo, é o meio de transferência desta resistência.

O encapsulamento pode promover tratamento para melhorar as características físicas e limitar a solubilidade de constituintes tóxicos contidos em resíduos, como da indústria petroquímica. O uso de aditivos modifica as características dos resíduos, transformando resíduos sólidos ou pastosos, com elevada concentração de contaminantes (como borras de petróleo e terra contaminada com óleo), em material seco, sem odor e com baixíssima concentração de contaminantes, permitindo assim a reutilização destes resíduos. A simples modificação pode ser utilizada para tratamento de resíduos sólidos antes de sua disposição em aterros, a fim de melhorar a capacidade de contenção de solos pobres em matéria orgânica, a proteção do aquífero, e aumentar a capacidade de contenção de camadas impermeabilizantes em aterros (Passos e Neder, 2001).

As principais formas de tratamento são:

- **Processo à base de cimento:** utiliza cimento Portland misturado ao resíduo onde os sólidos suspensos são incorporados na matriz de

concreto. É adequado para resíduos com elevado teor de metais tóxicos e íons metálicos, pois o alto pH forma hidróxidos e carbonatos insolúveis. O endurecimento e a cura do cimento pode ser acelerada ou retardada pela interferência de constituintes dos resíduos ou substâncias adicionadas para este fim.

- **Processo à base de cal e materiais pozolânicos:** são constituídos principalmente de material silicoso combinado com cal e na presença de umidade formam um material com características semelhantes ao concreto. São cinzas, poeiras de fornos de cimento, escória de alto-forno, trazendo como vantagem a possibilidade de incorporação de resíduos.
- **Processo à base de cimento e material pozolânico:** esta mistura tem como objetivo a melhoria da resistência física e química do resíduo a ser inertizado. As formulações utilizadas são as mais variadas bem como, os materiais utilizados. Podemos citar: sílica gel hidratada e argilas (bentonita, illita e atapulgita).
- **Processo à base de polímeros:** são usados termoplásticos como, betume, asfalto e polietileno para solidificar os resíduos. Neste processo são necessários equipamentos especiais para promover a mistura do resíduo e do polímero.
- **Processo à base de polímeros orgânicos:** são usados principalmente uréia formaldeído, poliéster e butadieno. São processos realizados em batelada, onde o resíduo seco ou úmido é misturado com um pré-polímero.
- **Encapsulamento superficial:** os resíduos prensados, aglomerados ou entamborados são revestidos superficialmente com poliuretanos, resinas de fibra de vidro ou mistura destes através de pincel ou spray.
- **Auto-solidificação:** este processo visa objetivamente tratar resíduos com grandes quantidades de sulfitos ou sulfetos de cálcio tornando-os auto-solidificáveis. Uma parte do lodo calcinado é reincorporado ao resíduo e aditivos produzindo um material solidificado semelhante a uma argamassa.
- **Vitrificação ou materiais sintéticos e/cerâmicos:** este processo baseia-se na fusão de resíduos com sílica ou outros materiais para formar vidro, material de silicato ou cerâmica. Esse processo aplica-se a materiais extremamente tóxicos e radioativos.

O manuseio de resíduos perigosos requer cuidados, pois as misturas durante o processo de estabilização/solidificação podem formar misturas incompatíveis com geração de calor, explosão, produtos inflamáveis ou com liberação de gases tóxicos (Quadro 5). Através do encapsulamento os constituintes nocivos devem ficar quimicamente inativos, permitindo uma disposição final segura onde o produto final seja resistente às intempéries e ao ataque de agentes biológicos além, de possuir elevada capacidade de suporte. Todos os custos efetuados durante a solidificação/estabilização representam despesas, pois estes resíduos não oferecem valor comercial. Portanto, a avaliação da viabilidade econômica é fundamental para aplicação desta tecnologia.

Quadro 5 – Resíduos incompatíveis para a técnica S/S

RESÍDUO 1	RESÍDUO 2	REAÇÃO
Bases: lama de acetileno, Soluções alcalinas	Ácidos: lamas ácidas, soluções ácidas	Geração de calor, reação violenta
Materiais tóxicos: resíduos de berílio, pesticidas	Solventes em geral, resíduos de petróleo	Liberação de substâncias tóxicas em presença de calor ou explosão
Substâncias aquosas: álcoois	Materiais anidros: hidretos metálicos, potássio, sódio	Fogo, explosão, geração de calor e gases tóxicos
Metais reativos: alumínio, magnésio, sódio	Ácidos ou bases fortes	Explosão, fogo, geração de hidrogênio (inflamável)
Cianetos, sulfetos: soluções	ácidos	Geração de gás cianídrico ou sulfídrico (tóxicos)
Substâncias orgânicas: aldeídos, hidrocarbonetos halogenados	Ácidos, bases fortes e metais	Fogo, explosão e reação violenta
Oxidantes fortes: cloro, nitratos, hipocloritos, peróxidos	Materiais inflamáveis, metais, hidrocarbonetos orgânicos e ácidos orgânicos	Fogo, explosão e reação violenta

4.3 Disposição de Resíduos

4.3.1 Aterros

A disposição de resíduos é a solução mais antiga e tradicional adotada pelo homem para dar destinação aos resíduos que gera. Os aterros podem ser divididos em duas classes sanitários, utilizados principalmente para resíduos urbanos e industriais. Além desses, ainda existem os lixões e os aterros clandestinos que proliferam nos arredores dos grandes centros urbanos de países em desenvolvimento, constituindo-se em foco de poluição e riscos à saúde pública. Os aterros sanitários e industriais permitem o confinamento seguro dos resíduos em termos de contaminação ambiental e saúde pública.

Os resíduos são dispostos em camadas compactadas e cobertas por uma camada de terra que será a base para uma nova camada de resíduos. Esse tipo de aterro evita a propagação de odores, fogo e fumaça, a proliferação de animais e as atividades marginais de catação. Sua instalação deve ser feita em área adequadamente escolhida, sobre solo impermeável e afastada de corpos d'água, permitindo o controle e o tratamento dos líquidos percolados, o chorume. Os gases produzidos pela decomposição dos resíduos poderão ser aproveitados ou então queimados no próprio local.

Os aterros industriais requerem projeto e execução mais elaborados que os aterros sanitários, em razão dos tipos de materiais que deverão receber, particularmente quando se trata de resíduos perigosos. Um aterro industrial requer impermeabilização rigorosa de sua base, com materiais naturais ou sintéticos, mantas plásticas especiais, e também uma cobertura impermeável para as células que já tiverem sido preenchidas, a fim de evitar a infiltração de águas de chuva e possibilitar o controle de emanações gasosas. É também importante manter uma distância de vários metros do fundo das valas do aterro

até o nível do freático no local. Por estes motivos é fator determinante a escolha do local para implantação do aterro.

As condições para a implantação de um aterro de resíduos perigosos foram definidas na Conferência de Basileia em março de 1994 (UNEP, 1994). As condições mínimas são

- local adequado do ponto de vista geológico, e sobretudo hidrológico;
- local relativamente afastado de zonas densamente povoadas;
- local de acesso fácil sem passar pelo meio de aglomerados populacionais;
- impermeabilização do local de disposição;
- sistema de recolhimento e tratamento de lixiviados e percolados;
- cobertura dos resíduos.

O monitoramento desse tipo de aterro tem que ser permanente, a fim de prevenir a possibilidade de contaminação do solo ao redor e das águas subterrâneas. Deve-se também procurar reduzir ao mínimo a quantidade de material lixiviado emitido pelo aterro industrial, evitando-se a disposição de resíduos muito úmidos e pastosos. Não obstante sejam gerados em quantidades reduzidas nos aterros bem construídos e operados, esses líquidos lixiviados devem ser constantemente analisados e tratados antes de lançados no corpo receptor.

Os resíduos dispostos em aterro devem ser, tanto quanto possível secos, estáveis, pouco solúveis e não voláteis. Não devem ser dispostos nos aterros industriais: ácidos, bases fortes, compostos orgânicos muito solúveis e voláteis, materiais inflamáveis e explosivos e resíduos radioativos, Rocca *et al* (1993). Entretanto, com o emprego de técnicas especiais de estabilização, encapsulamento, solidificação e vitrificação é possível dispor muitos desses materiais, depois de passarem por processos de tratamento que os tornam insolúveis e estáveis.

A vida útil de um aterro é função do volume de material que recebe na unidade de tempo e da densidade aparente do material. De acordo com uma visão sistêmica da natureza este deve ser concebido de forma que a sua vida útil seja prolongada, para tanto a segregação dos resíduos é fundamental. O aterro é uma solução relativamente barata, se comparadas com outras soluções como, por exemplo, a incineração e, por isso acabam penalizados se fossem pré-tratados. Por isso é conveniente conjugar o uso dos aterros com soluções que minimizem os resíduos, Roth (1996).

A imagem de risco que ainda cerca os aterros é em grande parte aumentada por fracassos ocorridos no passado, motivados por projetos incorretos e operações não monitoradas. Contudo, com cuidados, tanto na fase de projeto como durante a operação, os aterros oferecem, hoje, um elevado grau de confiabilidade.

4.3.1.1 Aspectos Construtivos

A implantação de um aterro deve vir precedido de Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), definidos na Resolução CONAMA 01/86 e na Portaria SEMA 10/96, em função do porte do empreendimento (Figura 13).



Figura 13 – Aspectos Construtivos de um Aterro

Fonte: Sedupe, 2004

Dentro dos aspectos construtivos propriamente ditos o projeto deve contemplar:

a) Sistemas de drenagem de águas pluviais, ou seja, de

- águas à montante da área do aterro evitando seu escoamento sobre este;
- águas que precipitam sobre áreas ainda não contaminadas pelos resíduos;
- águas que precipitam sobre o aterro encerrado evitando a percolação sobre a massa de resíduo.

b) Sistema de impermeabilização superior e inferior – o objetivo é assegurar o confinamento do resíduo de tal forma que não haja o risco de contaminação ambiental. Este sistema deve possuir resistência mecânica e aos fatores climáticos, ao mesmo tempo, deve garantir a compatibilidade entre os resíduos dispostos (Figura 14). Após o encerramento do aterro o confinamento do resíduo é garantido com o plano de fechamento que consta de

- impermeabilização superior a fim de impedir a entrada de águas pluviais;
- inclinação suficiente para evitar o acúmulo de águas pluviais que podem resultar na erosão do aterro;
- cobertura vegetal (gramado);
- manutenção de rotina mesmo após o encerramento;
- monitoramento da rede piezométrica por no mínimo 20 anos;

- plano para uso futuro.

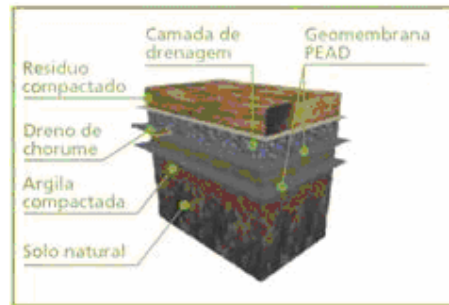


Figura 14 – Impermeabilização de um Aterro para Resíduos Perigosos

Fonte: Essencis, 2004.

c) Sistema de Detecção de Vazamentos – constitui-se de drenos testemunha e poços de inspeção do lençol freático (piezômetros). Os drenos testemunhas ou de alarme possuem o objetivo de detectar o mais rapidamente possível os vazamentos possibilitando, também ações de remediação. Os poços de inspeção são empregados para avaliação de lençol freático, sob área de influência do aterro, devendo ser no mínimo em número de 4, na direção do fluxo das águas, sendo 3 à jusante e um poço à montante, chamado poço branco.

d) Sistema de Cobertura (telhado) – tem como objetivo impedir que as águas de chuva atinjam a massa de resíduos gerando grandes volumes de águas contaminadas a serem tratadas, elevando assim os custos operacionais. Os telhados podem ser concebidos de diferentes formas e vão avançando à medida que a disposição de resíduo ocorre.

e) Sistema de Drenagem e Tratamento de Percolado – todo o chorume e as demais águas que incidem sobre o aterro devem ser recolhidos e conduzidos a ETE (estação de tratamento de efluentes líquidos). O sistema de drenagem pode ser na forma de espinha de peixe, colchão drenante ou tubulações PVD perfuradas. Este sistema é envolvido em geotêxtil e uma camada drenante de brita e areia, com inclinação em torno de 5% para facilitar o escoamento no sentido de saída da célula.

f) Drenagem de Gases – a formação de gases se deve à decomposição anaeróbia de matéria orgânica, com formação de metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2) ou devido a disposição de resíduos incompatíveis que geram gases tóxicos. Este sistema consiste em uma rede de tubulações perfuradas envolvidas por uma camada de brita. Os tubos atravessam a massa de resíduos no sentido vertical, a partir de uma distância de 60 cm da camada de impermeabilização inferior até a área externa do aterro. O número de drenos depende da quantidade de resíduos depositada e do percentual de matéria orgânica.

g) Poços de Monitoramento do Aquífero – a construção deve seguir atender a norma técnica da ABNT, NBR 13895. O projeto deve contemplar: número de poços, direção do fluxo do lençol freático, localização dos piezômetros; parâmetros a serem monitorados (depende do resíduo disposto) e periodicidade das análises.

4.3.1.2 Seleção de áreas

Considerações importantes:

- a localização deve ser a mais de 200 m de vertentes, arroios, rios e demais corpos d'água superficiais, distância medida horizontalmente a partir da cota máxima de inundação;
- o nível da água do lençol freático na sua cota mais elevada deverá observar uma distância mínima de 2,5 m da base do aterro;
- o aterro não deverá situar-se à margem de rodovias, estradas e demais vias de uso comum, devendo observar uma distância mínima de 20 m, a partir da faixa de domínio;
- a direção predominante dos ventos deverá ser no sentido oposto as áreas mais densamente povoadas, ou seja, da cidade para o local do aterro.
- prever a necessidade de acesso do material de cobertura, o ideal é que possa ser disponibilizado pelo próprio local;
- prever vida útil da área compatível com o empreendimento, não sendo inferior a 5 anos;
- priorizar solo com permeabilidade baixa (argiloso) para maior garantia operacional e menores custos de projeto.

V. CONCLUSÃO

Nesse universo, gerenciar os resíduos sólidos de forma a garantir a qualidade de vida da população, não somente é fundamental para o ambiente, como é condição de atendimento das demandas urbanas de maneira adequada. A gestão de resíduos sólidos é muito mais do que uma questão essencialmente técnica, mas parte de um processo, onde homem deve agir como agente transformador do meio e ao mesmo tempo, ser responsável em frear a degradação do planeta, desenvolvendo caminhos de qualidade, sobretudo através da melhoria de condições de vida a todas as espécies.

Em decorrência de ações de controle cada vez mais restritivas, custos com tratamento e disposição final mais cara, o gerador é incentivado a promover a não geração e a minimização dos resíduos. Por este motivo a política de diminuição da geração na fonte vem sendo largamente difundida e praticada no mundo inteiro, estando diretamente relacionada com outras práticas adotadas pelas empresas, tais como: aumento de produtividade e qualidade total. Dentro desta visão preventiva devemos estar atentos no gerenciamento de resíduos, especialmente os perigosos, pois:

A melhor forma de tratar os seus resíduos é não gerá-los. Assim sendo, deve ser feito um estudo para avaliar as reais possibilidades de redução de geração na indústria. Em primeiro lugar, deve-se evitar os resíduos que são gerados por desperdício, erros operacionais, etc. Em segundo plano, deve-se estudar os processos e verificar se através de modificações, não é possível a minimização dos mesmos (Carvalho, 1993, p.100).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2004). **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Resíduos Sólidos – Classificação: NBR 10004. São Paulo, 2004.
- ACHÔA, G. L. (1997). Co-processamento em fornos de cimento. **Revista Saneamento Ambiental**. São Paulo: n. 42, p.18-21, [1997?]
- ALVES, F. (1999). Simpósio na Bahia enfatiza gestão de resíduos - mudança de mentalidade. **Revista Saneamento Ambiental**. São Paulo: n. 55, p. 5, jan/fev 1999.
- AMBIANCE Consultoria e Soluções Empresariais(2004). **A mudança de Paradigmas – Classificação e Ensaio dos Resíduos Sólidos**, segundo a ABNT, São Paulo, 2004.
- _____. (1998). O que está sendo feito com os resíduos industriais? **Revista Saneamento Ambiental**. São Paulo: n. 54, p. 16-20. nov/dez 1998.
- _____. _____. (1999). A alternativa da incineração. **Revista Saneamento Ambiental**. São Paulo: n. 55, p.32-35. jan/fev (1999).
- Andrietta, A.J. (2002). **Pneus e Meio Ambiente: Um Grande Problema Requer Uma Grande Solução**. Disponível em: <http://www.reciclarepreciso.hpg.ig.com.br/recipneus.htm>. Acesso em 13.11.02.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA GRÁFICA (2002) – **Legislação Ambiental e a Indústria Gráfica**. Porto Alegre – Abril de 2002.
- ATSG S/C LTDA T O302 **Lead Assessor ISO 14000 – Manual do Participante**. Porto Alegre – MARÇO 2003
- BACKER, P. (1995). **Gestão ambiental: a administração verde**. Rio de Janeiro: Ed. Qualiltymark. 1995. 252 p.
- BRASIL (1998). Lei nº 9605 de fevereiro de 1998. A Lei do meio ambiente. **Revista Saneamento ambiental**, São Paulo: n. 49, encarte, jan/fev 1998.
- BRESSAN, D. (1996). **Gestão racional da natureza**. São Paulo: Hucitec, 1996. 111 p.
- CARNEIRO, Schelley. O meio ambiente no contexto econômico. **Tecnologia hoje**, <http://www.tecnoje.com.br> Acesso em 23.02.03.
- CARRASCO, J. A D. L. (1992). Programas de minimización de resíduos. **Revista Ingeniería Química**. [S.l.]: n. X, p. X, abril 1992.
- CARVALHO, M. F. de C. (1993). Gerenciamento de Resíduos na indústria. **Revista do Couro**. [S.l.]: n. X, p.99-105, out/nov 1993.
- CASTILHOS, A. B. de Jr. *et al* (1999). **Revista Saneamento Ambiental**. São Paulo: n. 58, p. 32-39, ago 1999.
- CAVALCANTI, J. E. (1998). A década de 90 é dos resíduos sólidos. **Revista Saneamento Ambiental**. São Paulo: n. 54, p.17-18, nov/dez 1998.

CNTL-SENAI/RS. **Manual técnico do programa de produção mais limpa (pmais) no setor gráfico – Requisitos Legais** (2004). Porto Alegre, 2004.

COELHO, P. E. (1999). Escória granulada de alto forno siderúrgico – matéria-prima para a fabricação de vidro. **Revista Meio Ambiente Industrial**, São Paulo: n. 16, p. 36-38, jan/fev de 1999.

CORBETT, C.J.; PAN, J.-N. (2002). **Evaluating environmental performance using statistical process control techniques**. European Journal of Operational Research 139(2002) 68-83.

CORSON, W. H. (1996). **Manual global de ecologia: o que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente**. São Paulo: Augustus, 1996. 413 p.

DÖBEREINER, C. (2003). Gerenciamento ambiental. **Tecnologia hoje**, Disponível em: <http://www.tecnoje.com.br>. Acesso em 15.01.03.

DONAIRE, D. (1995). **Gestão Ambiental na Empresa**. São Paulo: Atlas, 1995.

_____. (1990). **Resíduos Sólidos Industriais** Porto Alegre: Paginação irregular, [1990?]

EL-FADEL, M. et al (2001). **Industrial-waste management in developing countries: The case of Lebanon**. Journal of Environmental Management (2001) 61, 281-300.

EPA (1994). **Guide to cleaner technologies, alternative metal finishes**. United States Environmental Protection Agency, USA.

____ (2001). Joint comments of the National Association of metal finisher, American Electroplater and surface finishers society, Inc., The Metal Finishing Suppliers' Association. Disponível em: <http://www.aesf.org/gov.rel/mpm.com6-30.pdf> - Acesso em: 02/05/2002.

____. ____ (2002). Fact Sheet: **Metal Recovery Technologies for the Metal Finishing Industry**. Disponível em: <http://es.epa.gov/techinfo/facts/michigan/michfs20.html>. Acesso em: 09/12/2002.

____. _____. _____. (2000). **Management objectives for ecological risk assessment-developments at EPA**. Editorial. Environmental Science & Policy 3 (2000) 295-298.

Escolas Verdes (2004). Disponível em http://www.escolasverdes.org/pops/POPs/o_que_sao.htm. Acesso em 22.10.04

ESSENCIS (2004). Disponível em <http://www.essencis.com.br/Logos/ateclas1.jpg>. Acesso em 01.11.04.

FLORIDO, P. L.; TOREM, M. L. (1998). Flotação: Uma alternativa para a reciclagem de plástico. **Revista Saneamento Ambiental**. São Paulo: n. 53, p.60, out/nov 1998

FREEMAN, H. M. ; HARRIS, E. F. (1995) Hazardous waste remediation. Penssylvania: Tecnomomic, 1995. 342 p.

FREITAS, E. de ; CERQUEIRA L.. (1999). Brasil é mercado promissor para tecnologia alemã. **Revista Saneamento Ambiental**. São Paulo: n. 58, p.24-26, ago 1999.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. (1997). **Resíduos sólidos industriais: geração e destinação no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1997.

GALVÃO, J. B. Filho ; ASSUNÇÃO, J. V. (1991). Gerenciamento de resíduos industriais e a técnica de "waste minimization", [S. l.]: p. 7-13, 1991.

FURTADO J.(2003). **Produção Limpa, prevenção de resíduos & segurança química** (dez 2001). <http://www.teclim.ufba.br/jsfurtado/frame.asp?id=gestaosq>. Acesso em 20/04/2003.

_____. *et al* (1998). **Manual de Prevenção de Resíduos na Fonte & Economia de água e Energia**. São Paulo: Fundação Vanzolini, 1998.

GESTÃO AMBIENTAL COMPROMISSO EMPRESARIAL. (1996). São Paulo: Instituto Herbert Levy, 1996.

GOODYEAR ; IBAMA. (1990). Reciclagem de pneus. **Revista Saneamento Industrial**, São Paulo: n. 55, p. 8, jan/fev 1990.

GONÇALVES, R. B.; NASCIMENTO, L. F. (2002). **Impacto da aplicação de Técnicas de Produção Limpa: Caso Pigozzi**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Gramado/RS. 1997. **Anais... XVII ENEGEP (1 CD-ROM)**. Disponível na Internet via [www.](http://www.portalga.ea.ufrgs.br/Arquivo.asp#gestamb) URL: <http://www.portalga.ea.ufrgs.br/Arquivo.asp#gestamb> Arquivo capturado em 17/05/2002.

GONÇALVES R. B. (1997). **Impacto do uso de técnicas de produção limpa**, 1997. 102 p. (Mestrado em Administração) - Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GREENPEACE. (2002). **O que é produção limpa?** . Disponível em: <http://www.greenpeace.org.br>. Acesso em: 14/04/2002.

GREVE, P. (1998). ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Porto Alegre, 1998 1v. capítulo I, não paginado.

GUTBERLET, J. (1996). **Cubatão: desenvolvimento, exclusão social e degradação ambiental**. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo, 1996. 244 p.

HAWKEN, P. *et al* (1999). **Capitalismo Natural- Criando a Próxima Revolução Industrial**. São Paulo: Editora Cultrix, 1999.

HIBBITT, C.; KAMP-ROELANDS N. (2002). **Europe's (Mild) Greening of Corporate Environmental Management**. *Corporate Environmental Strategy* v.9, n.2 (2002) 172- 182.

HILSON, G.; NAYEE, V (2002). **Environmental management system implementation in the mining industry: a key to achieving cleaner production**. *International Journal of Mineral Processing* 64 (2002) 19-41.

HJERESSEN D. L.; KIRCHHOFF M. M.; LANKEY R. L. **Green Chemistry: Environment, Economics, and Competitiveness**. *Corporate Environmental Strategy* (2002) v.9, n.3 (259-266).

IPT (1998). Plasma. Revista Saneamento Ambiental, São Paulo: n. 53, p. 16-17, nov/dez 1998.

Lemos, J. A. P.; Neder, L. de T. C. (2002). Encapsulamento: Uma Técnica Moderna De Processamento De Resíduos Sólidos Perigosos. In: **XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL ABES**, 2002. 538p. 351-360.

LIMA, L. M. Q. (1991). **Tratamento de Lixo**. 2. ed. rev. São Paulo: Hemus, 1991. 240 p.

LIMA, Jorge L. de. Sistema de gestão ambiental e ISO 14000. **Tecnologia hoje**: Disponível em: <http://www.tecnoje.com.br>. Acesso em 23.01.03.

MAIMON, D. (1996). **Passaporte verde: gestão ambiental e competitividade**. Rio de Janeiro: Quallitymark. 1996. 120 p.

MARGULIUS, S. (1996). **Meio Ambiente: aspectos técnicos e econômicos**, 2 ed. Brasília: IPEA. 1996. 246 p.

MARIOTONI, C. A et al (1998). Redução da geração de resíduos em processos industriais na Bacia do Rio Piracicaba: uma necessidade para o planejamento energético e ambiental. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL-GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL, 2., 1998, Porto Alegre. **Anais: Gerenciamento de resíduos e certificado ambiental**. Porto Alegre: ABES, 1998. 634 p. 472-477.

NAGEL, M.H. (2002). **Managing the environmental performance of production facilities in the electronics industry: more than application of the concept of cleaner production**. Journal of Cleaner Production xx(2002)xxx-xxx.

NEGREIROS, S. (1998). O lixo nosso de cada dia. **Revista Saneamento ambiental**, São Paulo: n. 50, p. 17-22. mar/abr 1998.

____ (1997). Resicontrol-Projeto diferenciado para tratar resíduos. **Revista Saneamento Ambiental**, São Paulo: n. 46, p. 42-44 jul/ago 1997.

NEMEROW, N. L. (1991). **Industrial and hazardous waste treatment**. New York: **Internacional Thomson Publising Inc**. 1991. 743 p

NILSSON, K. (1990). Padrões de emissão para incineração de resíduos. **Revista Bio**, São Paulo, p. 13-16, [1990?]

PARKISON, G. (1990). Reducing wastes can be cost-effective. **Chemical Enginerring, USA**, p. 30-33, july 1990.

PBR. Reciclagem: incentivo. Revista Saneamento Ambiental, São Paulo: n. 56, p. 8, mar/abr 1999.

PETROBRÁS (2001). Pirólise. **Revista Saneamento Ambiental**, São Paulo: n. 53, p.8, set/out 2001.

PIRES, Maria C. Gerenciamento de Resíduos Sólidos. **Revista Tratamento de Superfície**. São Paulo: n. 71, p.34-40, mai/jun 1995.

RATHI, A.K.A. (2003). **Promotion of cleaner production for industrial pollution abatement in Gujarat (India)**. Journal of Cleaner Production 11(2003) 583-590.

RECICLÁVEIS (2004) Disponível em <http://www.reciclaveis.com.br/noticias/00401/0040129dioxinas.htm>. Acesso em 21.10.2004.

REICHERT, G. (1998). ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANTIÁRIA E AMBIENTAL. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Porto Alegre, 1998 1v. capítulo V, não paginado.

Reis, V. (2004). **Porto Alegre lança estudo do uso do lixo na geração de energia elétrica**. Disponível em <http://www.ecliponline.com.br/gomateria.asp?cod=14950&nome=Abrelpe&cliente=Abrelpe%20&u=&t=Abrelpe>. Acesso em 22.09.04.

RESOLUÇÕES CONAMA Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em 12.11.04.

RIO GRANDE DO SUL. (1993). Decreto n. 38.356 de 01 de abril de 1998. Lei dos Resíduos Sólidos do RS prevista na lei 9.921 de 27 de julho de 1993.

ROCCA, A. C. (1993). **Resíduos sólidos industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. 233 p.

RODHE, G. M. (1992) "Re – de prefixo a paradigma. **Jornal do Comércio**, Porto Alegre, 10 nov. 1992. p. 11

ROTH, B. W. (1996). **Tópicos em educação ambiental: recortes didáticos sobre o meio ambiente**. Santa Maria: Pallotti, 1996. 248 p.

SANTOS, EVANDRO SILVA DOS (2003). **Gerenciamento de Indicadores**. Porto Alegre, 2003. Sindigraf/Abigraf/RS.

SEDUPE (2004). Disponível em [://www.sedupe.pe.gov.br/fotos/tratamento_residuos_solidos/modelo_de_aterro.jpg&imgrefurl](http://www.sedupe.pe.gov.br/fotos/tratamento_residuos_solidos/modelo_de_aterro.jpg&imgrefurl). Acesso em 01.11.04.

SILVA, E. ; SILVA, M. L. P. (1998). Sustentabilidade, gestão ambiental e vantagens competitivas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL-GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL, 2., 1998, Porto Alegre. **Anais: Gerenciamento de resíduos e certificação ambiental**. Porto Alegre: ABES, 1998. 634p. p 32-36.

STANISKIS, J.K.; STASISKIENE Z. (2003). **Promotion of cleaner production investments: internacional experience**. Journal of Cleaner Production 11(2003) 619-628.

STUART, R. (2000). **Environmental management systems in the 21st century**. Chemical Health & Safety nov-dez 2000, (23-25).

TENORIO, J.A. S ; ESPINOSA, D.C.R. (2003). **Reciclagem de Pilhas e Baterias**. Disponível em: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsare/e/proypilas/proypilas.html>. Acesso em 21.03.2003.

TOCCHETTO, M. R. L. (1999). **O gerenciamento dos resíduos sólidos no Rio Grande do Sul considerando a implantação do Pólo Automotivo de**

Gravataí, 1999. 153 p. (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TOCCHETTO, M. R. L.; SOARES, MÁRIO ROGÉRIO KOLBERG (2003). **O gerenciamento dos resíduos sólidos industriais**, 2003. Programa de Desenvolvimento de Recursos Humanos . ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, Edição revisada 2003.

_____, *et al* (1997). **Tratamento dos resíduos para uma indústria metal-mecânica**, 1997. 212 p. (Monografia). Departamento de Engenharia Química, Pontifícia Universidade Católica, Porto Alegre.

_____. _____. (2004) **Implantação de Gestão Ambiental em Grandes Empresas com Atividade Galvânica no Rio Grande do Sul**. 2004. 176 p. Doutorado em Engenharia. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Engenharia Metalúrgica, dos Materiais e de Minas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TOCCHETTO M. R. L e PEREIRA L. C. (2004a). **Desempenho Ambiental e Sustentabilidade**. Disponível em: http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./gestao/index.html&conteudo=./gestao/artigos/desempenho_ambiental.html. Acesso em 20.08.2004

_____. (2004b). **Qualidade Ambiental e Ecoeficiência: nova postura para indústrias de alto impacto**. Disponível em http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./gestao/index.html&conteudo=./gestao/artigos/qualidade_amb.html. Acesso em 19.8.2004

_____. _____. (2004c). **Água: Esgotabilidade, Responsabilidade e Sustentabilidade**. Disponível em: <http://www.tratamentodeesgoto.com.br/informativos/acervo.php?chave=166&cp=est> Acesso em 16.09.2004.

TONDOWSKI, L. (1998). O cuidado com as soluções “criativas”. **Revista Saneamento Ambiental**. São Paulo: n. 54, p. 20-21, nov/dez 1998.

VALLE, C. E. (1995). **Qualidade ambiental: como ser competitivo protegendo o meio ambiente: (como se preparar para as normas ISO 14000)**. São Paulo: Pioneira, 1995. 117 p.

_____. (1998). Um passo à frente dos regulamentos ambientais: uma mudança cultura. **Revista Meio Ambiente Industrial**. São Paulo: n. 14, p.63, set/out 1998.

VERSCHOOR, A.; REIJENDERS, L. (1999). **The use of life cycle methods by seven major companies**. *Journal of Cleaner Production* 7(1999) 375-382.

_____, **Toxics reduction in ten large companies, why and how?** (2000). *Journal of Cleaner Production* 8(2000) 69-78.

_____, _____. (2001). **Toxics reduction in process. Some practical examples**. *Journal of Cleaner Production* 9(2001) 277-286.

VIEIRA, P. F.; WEBER, J. (Organizadores). (1997). **Gestão de recursos naturais renováveis e de desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental**. São Paulo: Cortez, 1997. 500 p.

ZANETI, I.(1997). **Além do lixo – reciclar: um processo de transformação.** 1. ed. Brasília: Terra Una, 1997. 133 p.

ZOBEL, T.; BURMAN, J. O. (2003). **Factors of importance in identification and assessment of environmental aspects in an EMS context: experience in Swedish organizations.** Journal of Cleaner Production XX(2003)XXX-XXX.

WANDER P. R. (2001). **Utilização de Resíduos de Madeira e Lenha como Alternativas de Energias Renováveis para o Desenvolvimento Sustentável da Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul,** 2001. 106 p. (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WHITE, C. D. *et al.* (2003). **Product recovery with some byte: an overview of management challenges and environmental consequences in reverse manufacturing for the computer industry.** Journal of Cleaner Production 11(2003) 445-458.